


FONDO PIZZOFALCONE





PRIMA SERIE



LEZIONI ELEMENTARI

DI

FISICA SPERIMENTALE

E DI

METEOROLOGIA

ACCOMODATE ALLA COMUNE INTELLIGENZA DEGLI ALLIEVI POCO VERSATI NELLE DISCIPLINE MATEMATICHE

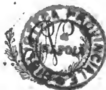
DETTATE DA

LUIGI PALMIERI

PROFESSORE DELLA R. U. DEGLI STUDI, E SOCIO ORDINARIO DELLA R. ACCADEMIA DELLE SCIENZE.

VOLUME PRIMO





NAPOLI

STABILIMENTO TIPOGRAFICO DI GAETANO NOBILE

Vicoletto Salata a' Ventaglieri num. 14

1852

ALL' ONORANDO P. M.

D. FRANCESCO SAVERIO APUZZO

PROFESSORE DI TEOLOGIA DOGMATICA

NELLA

REGIA UNIVERSITÀ DEGLI STUDÎ

PRESIDENTE INTERINO DEL CONSIGLIO GENERALE

DI PUBBLICA ISTRUZIONE

MAESTRO DI S. A. R. IL DUCA DI CALABRIA

QUESTE LEZIONI ELEMENTARI

DI

FISICA SPERIMENTALE E DI METEOROLOGIA

L' AUTORE

IN ARGOMENTO DI GRATO ANIMO

D. E D.

AVVERTENZA

Dopo molti anni di studi, d'investigazioni e d'insegnamento, la scienza si assimila all'individuo che la professa per modo che riveste, quand'ei la porge, una certa fisonomia ed un aspetto proprio; nè il pensiere dell'insegnante saprebbe più, dopo di essersi emancipato, tenersi tra le pastoie di un libro altrui ancorchè ottimo, e però i discenti provano un bisogno di trovare un'opera in cui le dottrine siano presentate in quell'ordine medesimo in cui furono loro esposte dalla viva voce del maestro. Ecco una prima ragione per chiunque, dopo un lungo insegnamento, di pubblicare le proprie lezioni. Io poi oltre al desiderio di soddisfare a questo bisogno mio e de'miei discepoli, ho anche creduto utile di accomodare lo insegnamento della fisica alla capacità de'giovani anche poco versati nelle matematiche, perocchè ho per lunga esperienza conosciuto che un numero grandissimo di essi si arretrano in faccia a'simboli dell'algebra la più elementare, ed abbandonano con grave loro danno lo studio di una scienza utile quanto amena, spaventati dall'austerità del linguaggio matematico, siccome intervenne anche a quel robusto ingegno dell'Astigiano. Sostituire dunque, per quando si può, al matematico il linguaggio logico, e discendere dalle dottrine matematiche più elevate alle più elementari, è il solo mezzo per guadagnare alla scienza un maggior numero dei cultori.

Ci ha un altro modo col quale si crede di rendere la scienza comune a molti, e questo è riposto in quelle mutilazioni che spesso hanno il nome di compendi o *manuali*, in cui il difficile è

taciuto, ed il facile spesso per brevità è oscurato, e quindi cotesti trattatelli riescono non di rado muti ed inutili per chi sa e per chi ignora la scienza. Le lezioni che metto a stampa son di credere che cansando da una parte una soverchia lungheria, non manchino di quanto è necessario per un compiuto insegnamento elementare. Tutte le verità capitali che tengon luogo di principî vi sono esposte con ampiezza bastante, usando un poco più di ristrettezza nelle conseguenze che se ne possono dedurre, ed a dir tutto in breve, queste lezioni scritte sono il riassunto delle orali. Io non ho avuto la vanità di comparire dotto, ma mi sono ingegnato ad essere utile, non ho voluto scrivere un trattato nella generale accettazione della parola, nè un compendiuolo troppo magro, ma ho voluto esporre quello che in un anno scolastico si può pretendere dagli allievi, e mi confido che l'opera possa essere bene accolta da'professori de' Collegi e de' Seminari da' quali riceverò con riconoscenza le osservazioni che potranno farmi circa la poca chiarezza che per avventura potessero ravvisare in qualche parte della esposizione, imperciocchè in un' altra edizione profitterò di tali osservazioni per chiarire que' luoghi che non fossero chiari abbastanza, avendo desiderato che la chiarezza fosse il principale attributo del mio libro.

Nell'esporre i risultamenti delle mie investigazioni intorno alle induzioni del globo, all' elettrochimica, all' elettrofisiologia, alla elettricità atmosferica, alla rugiada ec., non ho creduto dover ricordare qualche polemica insorta per alcune di esse, perocchè avendo a suo tempo risposto a' miei avversari nelle effemeridi scientifiche, tali quistioni debbono aversi come giudicate, ed io debbo tenermi contento se ho potuto con le mie fatiche, anche in minima parte, concorrere all'incremento della scienza.





LEZIONE I.

OBBIETTO DELLA FISICA.

La fisica, come suona il vocabolo, fu da prima la scienza della natura; ma la natura nella moltitudine de' suoi obbietti non potea lungamente essere abbracciata da una sola scienza, e però col progresso delle cognizioni dovevano a mano a mano da quel tronco primitivo rampollare molti ramí che poi rappresentar doveano altrettante scienze distinte le quali oggi scienze fisiche e naturali sogliono addimandare.

L'antica voce perciò al presente è riserbata a dinotare una di tali scienze, e che può, direi, considerarsi come la filosofia delle altre. Ma quale è l'obbietto speciale di essa, o in altri termini quale ne è la definizione? Se voi riscontrerete i varî trattati di fisica, troverete parecchie definizioni più o meno discordanti tra loro, e spesso poco acconce a bene determinare l'obbietto di questa scienza. Alcuni fisici, tra' quali il Pouillet, non soddisfatti da tali definizioni, giudicarono essere impossibile il voler definire la fisica come si definirebbe un obbietto di geometria, e più non domandarono; ma io credo che se ogni scienza aver deve la sua materia o vogliam dire il suo obbietto proprio, non dovrà essere malagevole il definirla quando quest'obbietto sia bene determinato. E le successive

definizioni della fisica rappresentano generalmente le diverse determinazioni assegnate alla stessa in ragione di una maggiore divisione intervenuta nelle cognizioni risguardanti le cose naturali. Qual maraviglia se non trovate buone certe definizioni della fisica quando volgete lo sguardo sopra alcuni trattati ne' quali si discorre di chimica, di meccanica, di cosmografia ec., scienze che oggi sono dalla fisica interamente distinte? Di che tratta oggi la fisica? Della gravità, delle azioni molecolari, del calorico, della luce, dell'elettricismo, vale a dire delle forze primigenie della natura: a me dunque sembra potersi la medesima definire *per la scienza delle forze che governano la natura inorganica, quando l'esercizio di queste forze non induca cangiamento nell'intima composizione de' corpi* (1). La fisica resta così distinta dalla fisiologia, dalla chimica ec. Ma se un giorno venisse pienamente dimostrato che le forze dell'organismo non siano altra cosa fuorchè le stesse forze fisiche diversamente atteggiate, e che le azioni chimiche non differiscano dalle azioni elettriche, converrebbe forse cambiare la esposta definizione? Io credo di no, perocchè in questo caso vi sarebbero solo maggiori attenenze tra la fisica e le altre scienze naturali. La fisica va oggi divisa in trattati diversi secondo le diverse forze che si prendono in disamina, e però la vecchia distinzione della scienza in fisica *generale* e *particolare* a me pare non potersi ritenere. Solo è possibile fare una riduzione sul numero delle forze che il fisico contempla, ed allora la divisione della scienza dovrà essere modificata. Imperciocchè alcuni fenomeni sembran da prima appartenere ad un genere diverso da quello cui altri appartengono, e quindi addimandare due diverse cagioni o vogliam dire essere la manifestazione di due forze diverse, ma più tardi si può giungere a trovare in essi tali attenenze da rendere accidentale la primitiva diversità, ed allora le due generazioni di fenomeni vanno subordinate ad un medesimo principio, e la scienza vien guadagnando in semplicità e perfezione. Quindi è che il fisico deve porre ogni diligenza nell'osservare i fenomeni e nell'ordinarli per generi, ponendo ben mente alle leggi che li governano, perocchè noi non conosciamo le forze primigenie o le prime cagioni della natura in modo assoluto ossia quali sono in se stesse, ma solo per lo modo con cui ci si manife-

(1) *Die Physik ist derjenige Theil der Naturlehere, welcher es mit den Gesetzen derjenigen Erscheinungen zu thun hat, die nicht auf einer Veranderung der Bestandtheile der Körper beruhen, denn damit beschöftigt sich die Chemie:* Müller Lehrbuch der Physik und Meteorologie ec. Vale a dire, che la fisica, secondo l'autore citato, è quella parte della scienza della natura che si versa intorno alle leggi di quei fenomeni i quali non dipendono da cangiamento degli elementi costitutivi de' corpi, intorno a' quali si versa la chimica.

stano, e però dare ragione di un fatto, o come dicesi spiegarlo, non altro significa fuorchè ridurlo ad un altro fatto più generale sotto del quale va compreso, e questo fatto generale è propriamente una legge. Or questo fatto generale può dipendere a sua posta da un altro ancora più generale fino a che si pervenga a certi fatti che debbonsi reputare come primitivi per rispetto a noi, dico primitivi logicamente e non cronologicamente parlando, perocchè quasi sempre ad essi si perviene dopo lunghe e laboriose investigazioni. Così se voi mi chiedete perchè un sasso abbandonato a se stesso da una data altezza si precipita sulla superficie della terra, io ve ne addurrò per ragione la gravità terrestre, e se mi domanderete il perchè della gravità terrestre, io ricorrerò alla gravitazione universale, che son costretto a tenere per un fatto primitivo. Quando tra' fatti osservati non si trova questo fatto generale acconcio a dar ragione de' medesimi, allora sogliono i fisici supporre di là della esperienza un fatto più generale che possa valere come principio di una famiglia intera di fenomeni: questo fatto supposto è ciò che in fisica si chiama ipotesi. Quando le ipotesi non siano delle fantasticherie arbitrarie, ma abbiamo certe doti essenziali delle quali non è questo il luogo di discorrere, sono alla scienza utilissime non solo perchè danno a' fenomeni un legame logico da permetterci di esporli con metodo scientifico, ma conducono la mente per via di deduzioni a nuove scoperte. Spesso i più grandi trovati furono da prima nella mente degli scopritori delle semplici ipotesi che poi l'esperienza ha maravigliosamente assodate. Tutta l'astronomia moderna con la sua prodigiosa precisione sta maestosamente sicura sulla ipotesi copernicana (1). Il metodo cui la moderna fisica deve il suo splendore è appunto quello che in essa introdusse il Galilei e che fu detto ipotetico sperimentativo col quale l'esperienza e la ragione vanno di conserva, a differenza dal nudo empirismo induttivo del filosofo da Verulamio. Gli antichi privi de' mezzi sperimentali ebbero una fisica tutta ipotetica e speculativa e però piena di incertezze, ma quando col criterio dell'esperienza si potettero scartare le opinioni arbitrarie e non fondate, allora la scienza procedette più spedita. L'osservazione consistendo nel sorprendere la natura sul fatto per rapirle il segreto delle sue operazioni, è certa-

(1) Quando scriveva queste parole non ancora il Foucault avea annunziato il fatto dello spostamento del piano delle vibrazioni del pendolo di cui a suo luogo ragioneremo, e dal quale si trae una nuova dimostrazione del moto diurno della terra, ma anche dopo di questo fatto che non era sfuggito al Viviani fin da suoi tempi, il moto della terra sarà sempre un fatto supposto che maravigliosamente dà ragione di fatti sperimentali.

mente utilissima, ma l'esperienza costringe quasi la natura a rivelare i suoi arcani, giacchè per essa, mercè di opportuni congegni, se le propone un quesito cui non può ricusarsi di dare una risposta. Ora l'arte di sperimentare appartiene più propriamente alla fisica moderna.

LEZIONE II.

DELLA MATERIA.

Tra materia e corpo non corre veramente una differenza essenziale, se non che *materia* propriamente direbbesi ciò onde il corpo è formato, e *corpo* quel tale raunamento o aggregato di materia che percepiamo in un determinato spazio. A noi piacerebbe di dire materia ogni cosa atta a generare in noi una percezione sensibile ovvero una sensazione, e sue diverse qualità sono appunto le sue varie manifestazioni sensibili o le diverse maniere con le quali può farci impressione (1). Alcuni filosofi ed alcuni fisici dicono la materia o il corpo essere l'estensione impenetrabile, o pure l'esteso impenetrabile, ponendo la estensione e la impenetrabilità per essenza della materia. Ma che cosa è mai la impenetrabilità? È la impossibilitá di coesistere due porzioni di materia nello stesso spazio e nello stesso tempo, in modo che se volete porre un corpo là dove se ne trova un altro sarà mestieri che questo ceda a quello il suo luogo: così quando conficcate un chiodo in una tavola, dove è entrato il chiodo più non si trova il legno, ma potreste credere che almeno le parti della tavola siensi compenetrate tra loro per dar passaggio al chiodo, e pure sarà agevole persuadervi che neppure in questo caso ci è stata compenetrazione, perocchè, come appresso vedremo, le molecole in un corpo serbano tra loro una certa distanza che può sotto una data forza essere diminuita, ed allora queste molecole avvicinandosi possono lasciar libero uno spazio più o meno grande, quindi nasce la compressibilità de' corpi di cui sarà altrove discorso. Considerata la materia come la impenetrabilità nello spazio, si dà una definizione capace di essere in certo modo d'accordo con la sperienza e con la osservazione la più volgare, ma se ci ha de' corpi imponderabili non riuscirà agevole il dimostrare in essi la impenetrabilità, non dico che non ci sia, ma dico che non saprebbe rendersi aperta co' mezzi della scienza, ecco perchè materia in gene-

(1) Materia secondo Kant è il mobile in quanto riempie lo spazio.
Secondo altri filosofi alemanni la materia e la *espressione visibile della permanenza o della continuità delle forze della natura.*

rale sarebbe per me tutto ciò che può fare impressione naturalmente sopra i nostri sensi, non potendo conoscere la essenza della medesima.

Ciò che noi col maggior numero de' fisici abbiamo detto impenetrabilità, altri dice *incompenetrabilità* serbando la prima voce ad indicare la incapacità di un corpo ad essere attraversato da un altro, distinguendo eziandio la *impermeabilità* che si dice di un solido per rispetto ad un fluido. Quando il discorso cade sulla materia ponderabile possiam dire che essa sia la impenetrabilità nello spazio, e possiam distinguerla in separabile ed inseparabile, la prima è corpo la seconda è *atomo*: atomo dunque significa l' unità fisica della materia, ciocchè nè la natura nè l'arte può dividere. L'idea di atomo non involge necessariamente la idea di picciolezza, ma sì bene quella di essere indivisibile nell'ordine delle forze naturali, salva rimanendo a' metafisici la quistione delle prime sostanze, o come dicono, de'primi elementi de'corpi. Ma queste unità o questi atomi se hanno esistenza sono di fatti sì piccioli che non giungiamo a discernerli con alcuno de' nostri mezzi. Sono dunque degli esseri del tutto ipotetici? Non solo la ragione c'induce a porne l'esistenza, ma la teorica delle proporzioni determinate della chimica ce ne dà quasi una dimostrazione, perchè se la natura stessa nelle sue operazioni non trovasse un limite alla divisibilità della materia non si saprebbe spiegare come nelle combinazioni essa passa da un composto all'altro come per salto, senza darvi giammai i composti intermedî che pure dovrebbero essere possibili. Combinate il cloro al mercurio ed avrete in una prima combinazione il calomelano (*proto cloruro di mercurio*) in una seconda combinazione il sublimato corrosivo (*deuto cloruro di mercurio*), ma non avrete mai una combinazione intermedia tra l'uno e l'altro. La ragione di questo fatto e di cento altri dello stesso genere che la chimica insegna si trova nella ipotesi della esistenza degli atomi. Si pone che l'unione di due o più atomi formi una molecole, e l'unione di più molecole formi il corpo. Gli atomi e le molecole sarebbero uniti tra loro mercè alcune forze che denomineremo per ora tutte forze molecolari, quantunque alcune di queste sien propriamente forze chimiche e son conosciute col nome di affinità, ed altre siano di pertinenza della fisica e verranno a suo luogo esposte e dichiarate.

Per farvi intendere poi come dal fatto delle proporzioni *determinate o definite* si argomenti alla esistenza degli atomi o unità fisiche della materia, mi servirò di un esempio grossolano ma acconcio a rendere palpabile il concetto che in questo momento non posso esprimere col linguaggio della chimica senza riuscire oscuro. Immaginate di aver voi due mucchi uno di grano ed uno di

orzo e supponete che avvicinando i granelli dell'uno a quelli dell'altro frumento questi aderir potessero tra loro, e che aderissero eziandio i diversi raunamenti di granelli misti de' due frumenti anzidetti. Proponiamoci di formare così una massa de' due frumenti imitando il procedimento della natura, componendo prima le molecole con atomi de' due componenti e poi la massa totale di molecole. Prenderemo allora un granello di grano ed uno di orzo e gli uniremo insieme, poi ripeteremo per un gran numero di volte la stessa operazione e finalmente uniremo insieme tutte queste unioni elementari. Avremo per tal modo un composto in cui il grano sta all'orzo come uno ad uno.

Se poi nel formare le prime unioni aveste preso per ogni volta un granello di grano e due di orzo, voi avreste avuto nel composto la proporzione di 1 a 2; ora immaginate senza pensare ad altre combinazioni che aveste voluto fare un composto intermedio tra questi, in cui la proporzione per esempio fosse stata di 1 ad 1 $^1/_2$, è chiaro che vi sarebbe stato mestieri prendere per ogni granello di grano uno e mezzo di orzo, ma supponete i granelli indivisibili, ed allora sarà impossibile avere un tale composto o qualunque altro intermedio tra i due: voi sarete in questo caso costretti di passare di botto dall' uno altro senza poter mai percorrere tutte le gradazioni intermedie. Ora nel fatto delle proporzioni definite vedendo la natura sottoposta ad una somigliante necessità, conchiudiamo che essa incontrar deve delle unità inseparabili ossia indivisibili e che diciamo atomi.

LEZIONE III.

DELL'INERZIA E DELLE FORZE.

Considerate le molecole come unioni e raunamenti di atomi ed i corpi come raunamenti di molecole e tosto vi apparirà la necessità delle forze che presieder debbono alla formazione del corpo non che alla sua conservazione. Sforzatevi a rompere un pezzo di legno o di metallo, e vi accorgerete che le molecole sono tenute in sito da una forza che vi resiste. Qui voi vedete forze molecolari di natura attrattiva, ne' fluidi elastici o aeriformi, detti comunemente *gas* con voce straniera, voi vedrete queste forze ripulsive, e ne' liquidi pare a prima giunta non trovarsi nè l'una nè l'altra di queste due forze rivali che nell' antica fisica Empedocle avea dette amore ed odio, ma forse avremo ragione di ammettere l'una e l'altra generazione di forze in tutt' i corpi: comunque sia per ora è chiaro

che il corpo non potrebbe avere esistenza senza le forze, nè sappiamo esservene alcuno il quale non ci presenti delle forze in azione. Ma quando i filosofi ed i fisici han voluto sottilmente penetrare nel mistero profondo delle prime cagioni naturali, hanno trovato un campo di luce muto, ed han dovuto per necessità andare incontro a due concetti che han formato due scuole distinte conosciute co' nomi di *scuola meccanica, e scuola dinamica.*

Con la prima si pone che nella natura fisica vi siano due generi di enti, la materia cioè e le forze; la materia secondo questa dottrina sarebbe puramente passiva, inetta di per se a qualunque azione, ma subbietto acconcio a subire l'imperio delle forze, che diverse affatto dalla materia sono ordinate a fare impeto sopra di essa, o come dicono alcuni filosofi son date alla materia in ragion di sistema: le forze poi, enti distinti dalla materia, opererebbero sulla medesima generando equilibrio e moto, ossia tutta la meccanica del mondo. Fu Renato Descartes che nel risorgimento delle lettere fece rivivere questa dottrina che fu così universalmente accolta dalla sua scuola, ed alla quale aderirono molti grandi ingegni tra i quali Isacco Newton.

La scuola dinamica fatta rivivere nel periodo cartesiano da Guglielmo Leibiniz, nega quel dualismo ossia la distinzione tra la materia e le forze, e proclama il principio del filosofo di Lipsia qui sopra citato: *quod non agit substantiae nomen non moeretur.* Per essa ogni sostanza è forza ed ogni forza è sostanza, ed afferma dal conflitto delle forze nascer l'equilibrio ed il moto. Se potessimo trovare in natura una porzione qualunque di materia che non soggiacesse all'imperio di alcuna forza, ma ridotta a quella indifferenza o passività comè se la figurano i meccanici, la disputa sarebbe decisa col fatto, ma noi non conosciamo una tale materia, perchè in natura tutto è moto ed equilibrio, e per un modo di esprimermi, tutto è vita nell'universo. Allora i dinamici domandano che cosa son mai le forze considerate come distinte dalla materia; non materia, non spiriti; sono dunque degli enti incomprensibili. La forza dicono costoro separata dalla sostanza ossia dalla causa è un astrazione, perchè quando voi mi dite forza mi dite un agente un essere senza del quale la forza non può concepirsi. Senza parlarvi degli errori filosofici che vennero da coloro che parteggiarono per l'una o per l'altra dottrina, dico che la scuola dinamica indipendentemente da molte fantasticherie alemanne può accordarsi con la dottrina atomistica in modo ragionevole.

Ciò premesso veniamo all'inerzia della materia. La materia è inerte vi dicono i fisici; ma non tutti per inerzia intendono la cosa medesima. Alcuni supposero nella materia un conato una tenden-

za a perseverare nello stato in cui trovasi sia di moto sia di quiete, per cui richiedesi uno sforzo per farglielo mutare. Altri fedeli al concetto della scuola meccanica, per inerzia intesero la indifferenza della materia al moto o alla quiete, incapace cioè a muoversi di per se, ma pronta al moto se una forza esterna venisse a stringerla, e del pari incapace di per se a porsi in quiete se era in moto senza una forza somigliante. I dinamici per contro non possono ammettere la quiete assoluta nascente dall'assenza di qualunque forza, ma sibbene quella che nasce dal conflitto di più forze e che dicesi equilibrio, il quale se si rompe per sopraggiungere di nuova forza nasce il moto, il quale è naturale che duri fino a che non si avverino le condizioni di equilibrio. Per costoro l'inerzia consisterebbe nell'operare della materia secondo leggi necessarie, priva cioè della spontaneità che appartiene agli animali e dell' arbitrio ch' è della natura degli essere intelligenti.

Isacco Newton partendo dall' idea dell' inerzia intesa secondo i meccanici fermò le sue tre famose leggi che sono le seguenti:

1. Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto uniforme e rettilineo fino a che non sia astretto da forze esterne a mutare quello stato.

2. Il cangiamento di moto deve essere proporzionale alla forza motrice impressa e deve avvenire secondo la direzione di essa forza.

3. L'azione è sempre eguale e contraria alla riazione.

Or se quest' ultima legge si vuole applicata nel caso di forze in conflitto è certamente verissima, ma se si vuol dire che debba esser vera nel caso di una forza che incontri una materia perfettamente ed assolutamente passiva, inerte nel senso de'meccanici, è certo una contraddizione ne'termini, perocchè dire che la materia non ha forza e dire che si oppone o resiste alle forze è pronunziare la più flagrante contraddizione. Ma si dirà questa riazione o resistenza della materia o come altri la dice questa forza d'inerzia è poi un fatto il più ovvio: ed in vero se voi legate una fune ad una colonna e poi la tirate, la colonna vi presenta una resistenza in modo che se in vece della colonna voi ponete un uomo che abbia l'opposto capo della fune tra le mani, costui conviene che tiri con forza pari alla vostra in opposizione a voi, se non vuol cadere di faccia a terra; la colonna dunque dovea offrirvi poco prima un eguale resistenza. Allora io dico che se questa innegabile resistenza proviene dall' inerzia, sarà giuocoforza mutare la definizione che di essa si è data, perocchè la pura passività o indifferenza tramutarsi, senza sagrificar la logica, in una resistenza ossia in una forza è affatto impossibile. Quantunque io inclinassi più per la scuola dinamica, senza certe ipotesi che l'han deturpata, pure dico che la scuola meccanica può anzi deve

rinunziare all'idea di una forza di inerzia se vuole sfuggire l'assurdo da cui rimarebbe altrimenti colpita. Imperciocchè quando anche la materia fosse in se medesima distinta dalle forze, pure in natura essa soggiace sempre al loro imperio, nè mai l'esperienza o l'osservazione ci potranno dimostrare l'esistenza di una materia che non sia in atto dalle forze dominata. Quando dunque da parte della materia si trova resistenza, in vece d'invocare l'inerzia s'invochino le forze alle quali la materia ubbidisce e la contraddizione sarà sparita. Ma quali sono queste forze? Senza pretendere di volerle enumerare tutte, basterà notare la gravità, le azioni molecolari e la stessa impenetrabilità della materia che io ritengo per una forza. E per fermo perchè la colonna da noi poco fa supposta non cade tirata per la fune? E forse per l'inerzia che resiste? No certo, perchè se per poco la colonna non avesse peso e le sue molecole non fossero animate da una forza di coesione, voi vedreste sparire tutta quella enorme resistenza. Ciò è vero mi dirà taluno ma d'onde viene la resistenza che io provo se con la palma della mano urto un globo mentre scende per la verticale? Quì io non mi oppongo alla gravità nè vado a rompere l'equilibrio nascente da conflitto di forze. Eh bene questa resistenza già molto piccola non avrà più bisogno della inerzia se porrete mente alla forza di coesione delle particelle del globo, alla impenetrabilità della materia ed alla sensazione nascente dalla comunicazione del moto. Imperciocchè noi provando in due diverse congiunture le medesime sensazioni siamo naturalmente inclinati a supporre le medesime condizioni obbiettive. Ed in fatto supponete di aver un corpo che si muova verso di voi con 10 gradi di forza e che vogliate fermare con la mano, è chiaro che vi sarà mestieri fare uno sforzo eguale a 10; ora supponete che vogliate dare lo stesso moto ad un altro corpo ch'era in quiete, vi sarebbe sicuramente necessario il medesimo sforzo: ecco due sensazioni tra le quali passa una perfetta medesimezza, se dunque avete dato alla prima il nome di resistenza, voi non dubiterete di dare lo stesso nome alla seconda, e pure nel primo caso il corpo vi ha effettivamente resistito in virtù della forza che lo animava, nel secondo vi è stata semplice comunicazione di moto, giacchè secondo le leggi dinamiche l'urtante perde tanto di moto per quanto ne acquista l'urtato.

La prima e la seconda legge poi, delle quali di sopra è detto, vengono non solo dall'idea dell'inerzia secondo i meccanici, ma eziandio da quella de' dinamici, per cui non può dalla loro verità argomentarsi a quella del principio d'onde il sommo geometra inglese le ripeteva. Considerate la impenetrabilità nello spazio, aggiungetevi l'inerzia, ed in ultimo, se volete, la mobilità conseguenza de' li-

miti della materia, ed avrete l'idea che di questa vi vien data de' fisici, idea che per noi è molto incompiuta specialmente perchè il concetto di forza non vi si trova esplicitamente compreso. Ma se i fisici han saputo per un'astrazione pensare la materia senza le forze, non è stato per essi possibile prescindere dalle medesime quando han dovuto pensare al corpo, quindi gli atomi mercè alcune forze si uniscono in molecole e queste a lor posta ordinandosi secondo certe leggi formano il corpo. I corpi come tali godono di certe proprietà che non sono degli atomi ossia della materia e queste si dicono proprietà generali de' corpi delle quali discorreremo nella seguente lezione.

LEZIONE IV.

DELLE PROPRIETA' GENERALI DE' CORPI.

Le proprietà generali de' corpi sono, secondo alcuni fisici, le seguenti:

1.° Divisibilità.
2.° Porosità.
3.° Elasticità.
4.° Compressibilità.
5.° Dilatabilità.

Se porrete mente dalla prima fino all'ultima di tali proprietà, vi accorgerete che non ce n'ha alcuna che possa assegnarsi all'atomo il quale non è divisibile nè poroso ec.

Vi fo osservare poi che queste sono per lo più la conseguenza delle forze, per cui della elasticità si deve discorrere quando si parla delle forze molecolari, della dilatabilità in proposito del calorico ec. e poi a queste si potrebbero aggiungere la proprietà che hanno tutt'i corpi di elettrizzarsi, d'illuminarsi, di riscaldarsi ec.

Io dunque non vi avrei parlato affatto di queste proprietà se non in proposito delle forze dalle quali derivano, cioè di ciascuna a suo luogo, ma per non innovare soverchiamente seguo l'uso de' più senza partecipare de' loro convincimenti.

Divisibilità — Tutt'i corpi si possono dividere in parti e queste in altre minori, nè ci ha chi nol sappia; ma si è domandato, ci ha un limite di questa divisibilità: ecco la quistione famosa che ha obbligato i fisici a tenere sempre un più o meno lungo discorso di una proprietà de' corpi così poco bisognosa di dimostrazione scientifica.

Da prima non essendo ben distinti i confini della fisica da quelli della metafisica, in proposito della divisibilità de' corpi i fisici anda-

vano alla solita quistione de' primi elementi, ed alcuni sostennero la materia essere divisibile all'infinito. Poi venuta la dottrina degli atomi nel modo che di sopra è detto, si pose un limite alla fisica divisibilità e si lasciò a' metafisici la quistione della divisibilità assoluta, ed allora fu che si volle solo per esperienza provare che se gli atomi hanno esistenza, trovansi al di là de' confini delle nostre osservazioni, potendo la materia dividersi in modo maraviglioso; e però si son cercate solo le prove di questa prodigiosa divisibilità della materia, le quali generalmente sonosi attinte da quattro fonti principalissime: 1. dalle materie coloranti, 2. dagli effluvî odoriferi, 3. dalle arti meccaniche, 4. dalle osservazioni microscopiche.

1.° Con poca quantità d'indaco potete colorare in azzurro sbiadato una gran quantità di acqua, ora vedete in quante gocce quest'acqua è divisibile ed in altrettante parti potrete dividere la piccola quantità d'indaco che in essa avete disciolta. È per mezzo di soluzioni più o meno allungate che i medici omiopatici amministrano a' loro infermi de' millionesimi di granello di parecchie sostanze medicinali.

2.° Se lasciate il muschio per poco tempo esposto in una stanza, tosto in qualunque luogo di essa vi collochiate sentirete l'odore del medesimo: e pure la quantità di muschio esalata è tenuissima.

3.° Una picciola quantità di oro con cui si riveste una verghetta di argento si trova tuttavia sulla superficie di quest'ultimo metallo quando la verghetta è convertita in un filo sottilissimo. Per esser breve non vi citerò che un altro fatto il quale dimostra l'estrema sottigliezza cui l'arte ha potuto ridurre la materia. Il dottor Wollaston ha fatto de' fili di platino del diametro di $^{1}/_{1200}$ di millimetro talchè bisogna fare un fascio di 140 di questi fili per avere la grossezza del filo di bozzolo: e quantunque il platino sia il più pesante tra tutt'i corpi conosciuti, pure con la lunghezza di mille metri non si avrebbe un peso maggiore di 4 o 5 milligrammi.

4.° Il microscopio rivela a' nostri occhi un mondo di esseri invisibili ad occhio nudo, e quindi ci fa conoscere moltitudine di parti l'addove avremmo creduto toccare i confini di ogni divisibilità. Prendete del fieno e mettetelo in infusione, poi dopo qualche tempo ponete una goccia di questo infuso innanzi al microscopio, e resterete meravigliati dal vedere un numero grandissimo di piccoli animali che vivono in quella goccia liquida, ma essi non rappresentano l'ultimo termine di divisibilità, perocchè in ogni animale ci ha a distinguere pluralità di organi, di sistemi ec., onde si vede la impossibilità di pervenire con l'osservazione fino agli atomi, cui per ipotesi almeno, la nostra mente è quasi costretta a cercare un sostegno. Stimo superfluo il venirvi quì descrivendo altre osservazioni del

medesimo genere delle quali spesso trovate fatta menzione nelle opere di fisica, perchè ho fermato di esser breve sulle cose facili per allargarmi alquanto sulle materie più gravi e meno agevoli ad essere intese.

Porosità. — Vedremo tra poco potersi con buone ragioni sostenere che gli atomi e le molecole di un medesimo corpo non si toccano, ma restano a determinate distanze; ma prescindendo per ora da tutto questo diciamo, essere un fatto che tra le particelle de'corpi rimangono degl'intervalli più o meno grandi, degli spazietti non occupati dalla materia onde il corpo è formato, e tali spazietti si addimandano *pori*, e porosità la proprietà che hanno i corpi di avere siffati pori. Alcuni corpi hanno pori visibili immediatamente da chiunque come sarebbero la pomice, la spugna; altri manifestano la loro porosità perchè sono attraversati da qualche liquido. Così l'acquarzente o alcool colorito che penetra ne' pori del marmo, l'acqua che rinchiusa in una sfera di argento dagli accademici fiorentini trapelava attraverso le pareti metalliche a mo' di sudore quando la sfera era fortemente battuta, l' idrofana che messa nell' acqua aumenta di peso e diviene trasparente, il mercurio che attraversa il fondo di una coppa di legno collocata sopra cilindro di cristallo in cui siasi rarefatta l'aria, dimostrano troppo chiaramente la porosità de'corpi minerali e vegetali anzidetti, gli ultimi de' quali non lascerebbero verun dubbio intorno alla loro porosità qualora si volessero considerare solamente le funzioni del loro organismo, senza por mano neppure al microscopio con cui spesso se ne osserva l'ammirabile ordinamento. Queste considerazioni ci dispensano di venirvi provando la porosità del regno animale.

Dalle cose dette intendesi che lo spazio che il corpo sembra di occupare e che dicesi comunemente il *volume* del corpo non è poi veramente tutto occupato, e però che questo volume dicesi eziandio volume *apparente* per distinguerlo dal volume reale che sarebbe rappresentato dalla somma degli atomi del corpo, i quali formano anche ciò che dicesi *massa* del medesimo. Ora la ragione che passa tra la massa ed il volume di un corpo dicesi la sua *densità*. E per fermo s'intende che per un dato volume la densità sarà tanto più grande per quanto maggiore sarà la massa ossia il peso, e che per un dato peso la densità sarà tanto minore per quanto maggiore sarà il volume (1); onde si può la densità rappresentare col quo-

(1) Onde chiamando M, D, V la massa la densità ed il volume di un corpo si ha $D=\frac{M}{V}$ e quindi $DV=M$ e $V=\frac{M}{D}$; e se con m, d, v rappresenteremo la massa la densità ed il volume di un altro corpo avremo similmente $m=dv$, $d=\frac{m}{v}$ e $v=\frac{m}{d}$; onde paragonando le masse avremo $M:m=DV:dv$, e se fosse $M=m$

ziente che si ha dividendo la massa per lo volume, quoziente che dai matematici viene anche denominato ragione.

Le masse di due corpi crescendo in ragion che crescono le densità, rimanendo i volumi gli stessi, o in ragione che crescono i volumi rimanendo le stesse le densità, perciò in linguaggio matematico si dice che le masse di due corpi sono tra loro in ragione composta dalla diretta delle densità e de' volumi. Che se due corpi avessero masse eguali è chiaro che se la densità dell'uno fosse maggiore di quella dell'altro, il volume di questo sarebbe tanto maggiore per quanto minore è la sua densità, il che si esprime dicendo, che quando le masse di due corpi sono eguali le densità sono in ragione reciproca de' volumi.

Con analoghe considerazioni comparando le densità di due corpi si vedrebbe esse dover crescere crescendo le masse e scemare crescendo i volumi, e però essere in ragion composta della diretta delle masse e della inversa de' volumi. E nel caso di densità eguali le masse stare tra loro come i volumi.

Nello stesso modo si procederebbe paragonando i volumi.

Elasticità. È questa la proprietà che hanno i corpi di riprendere dentro certi limiti la loro configurazione od il loro volume dopo che abbia cessato di operare sovr'essi la forza che la figura od il volume de' medesimi avesse cangiato. Prendete una lamina metallica alquanto lunga e sottile e tenendola fra il pollice e l'indice per un estremo urtatela all'altro estremo, e la vedrete di diritta diventar curva, ma cessando di urtarla la vedrete dopo alcune vibrazioni tornar diritta come prima, ecco la sua elasticità. Ma è chiaro che se la lamina fosse una molla di acciaro si repristinerebbe ancorchè fosse stata di molto curvata, ma non così se fosse per esempio di piombo, perchè avrebbe appena consentita una piccolissima flessione. Onde sebbene l' elasticità appartenesse a tutt' i corpi, pure non tutti sono egualmente elastici, ciascuno avendo i limiti di sua elasticità. Que' corpi che come l' acciaro delle molle, l'avorio, la gomma elastica ec. hanno molta elasticità diconsi corpi elastici, quelli poi che tosto escono da limiti di loro elasticità, o si spezzano e diconsi duri, o si piegano, si schiacciano ec. e diconsi molli. L'elasticità ne'solidi può essere di varie maniere cioè di flessione di stiramento, di torsione, di compressione. La palla di avorio che gettata sopra un piano di marmo torna indietro riflessa vi mó-

si avrebbe $DV=dv$, e traducendo in proporzione $D:d=v:V$. Paragonando poi le densità si avrebbe

$$D:d=\frac{M}{V}:\frac{m}{v},$$

e se fosse $D=d$ ne verrebbe $\frac{M}{V}=\frac{m}{v}$ cioè $M:V=m:v$ e permutando $M:m=V:v$. Lo stesso si farebbe volendo paragonare i volumi.



stra chiaro ch'essa si depresse alquanto nell'urto e poi nel riaversi ricalcitrando contro del piano ritorna indietro.

I liquidi manifestano la loro elasticità in una sola maniera, quando sotto forti pressioni scemano alquanto il loro volume e poi lo riprendono quando la pressione finisce.

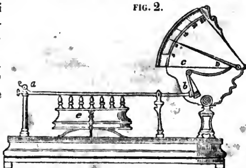
I fluidi aeriformi o gas manifestano questa stessa elasticità in modo assai più spiccato come quelli che sono molto compressibili. L'accendifuoco pneumatico (*fig.* **1.**) è uno strumento molto acconcio a provare la compressibilità e l'elasticità dell'aria. È questo un cilindro cavo di cristallo ben calibrato, chiuso al di sotto, e dentro del quale può scorrere a strofinìo stretto uno stantuffo *m* munito dell'asta corrispondente. Or facendo entrare l'anzidetto stantuffo dentro del cilindro l'aria che trovasi al di sotto si comprime in ragion che lo stantuffo si spinge con più forza, ma quando più non si urta si vede questo risalire per la elasticità dell'aria ch'erasi compressa. Ma i fluidi aeriformi hanno di più una tendenza ad espandersi la quale è indefinita, e di questa noi discorreremo in luogo più opportuno.

FIG. 1.

Compressibilità. Tutt' i corpi premuti possono acquistare un volume minore. Chi non sa che i metalli battuti o laminati diventano più densi? I liquidi tenuti da prima incomprensibili dopo la famosa esperienza degli accademici del Cimento di sopra riferita, furono di poi assoggettati a nuove disamine specialmente da Oersted il quale col mezzo di uno stromento detto *piezometro*, e che a suo tempo descriveremo, dimostrò ad evidenza, anche i liquidi essere compressibili. Per la compressibilità de' fluidi aeriformi basti per ora quello che di sopra ne abbiamo detto parlando dell'accendifuoco pneumatico.

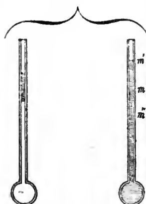
Dilatabilità. — Tutt'i corpi, salvo qualche rara eccezione di cui sarà altrove discorso si dilatano col riscaldarsi e col raffreddarsi si restringono. Questo fenomeno si avvera ne' solidi, ne' liquidi e nei corpi aeriformi. Sia *a b fig.* **2.** una verga metallica fissata all' estremo *a* e con

FIG. 2.



l'estremo *b* tocchi un braccio della leva zancata o curva *bD* la quale con l'altro braccio si appoggi ad un indice mobile sopra un quadrante. Accesi i lucignoli ad acquarzente collocati sulla vaschetta *e*, la verga *a b* riscaldasi, si allunga e fa camminare l'indice sul quadrante. Spenti poscia i lucignoli anzidetti, l'indice si vedrà tornare indietro. Questo strumento ha ricevuto nelle scuole il nome di pirometro.

FIG. 3.



Se poi vogliasi rendere aperta la dilatabilità de' liquidi, si prenda un recipiente di vetro a collo stretto e lungo come uno di quelli espressi nella *fig*. 3. e postovi dentro un liquido come per esempio mercurio che arrivi col livello in *m*, agevole sarà il vedere che riscaldando il liquido il livello ascenderà verso *m'* e raffrendandolo discenderà verso *m''*. Che se nel cannello s'introdurrà semplicemente una goccia liquida allora questa si vedrà salire o scendere col riscaldare o raffreddare l'aria contenuta nel sottoposto recipiente, il che dinoterà la dilatabilità dell'aria. Ma noi ritorneremo sopra questo argomento in proposito del calorico.

LEZIONE V.

NOZIONI ELEMENTARI DI MECCANICA RAZIONALE.

In natura non si dà quiete assoluta, ma sì bene equilibrio, giacchè le forze sono in perpetuo conflitto, dal quale può nascere o l'equilibrio o il moto. La scienza che considera in astratto le condizioni dell'equilibrio e del moto, supponendo delle forze che operino con certe determinate leggi sopra punti o sistemi di punti materiali, dicesi *meccanica razionale*, scienza che appartiene alle discipline matematiche; essa si divide in *statica* ossia scienza dell'equilibrio e *dinamica* o scienza del moto. Lo studio della meccanica razionale dovrebbe precedere quello della fisica, siccome lo studio di questa dovrebbe precedere quello della meccanica applicata, ma siccome la maggior parte de' giovani, se ne escludi quelli che tiran su per l'architettura, si fanno a studiare la fisica senza avere prima studiata la meccanica razionale, anzi con iscarsissime

cognizioni talvolta degli elementi delle matematiche, così generalmente nelle lezioni di fisica è mestieri fare alcune intramesse di meccanica, esponendone cioè le principali verità, come lemmi indispensabili per bene apprendere la fisica, senza poterle corredare delle opportune dimostrazioni per le quali si richiedono cognizioni matematiche superiori a quelle che io suppongo nella generalità degli allievi. Coloro dunque che avessero studiata la meccanica potranno saltare a piè pari queste poche nozioni, e coloro che senza avere apparata la meccanica fossero non pertanto nello studio delle matematiche più inoltrati, potranno riscontrare delle opere in cui troveranno queste materie esposte più distesamente.

Diciamo forza ciocchè genera o tende a generare moto. La forza può per un sol momento operare sopra di un corpo dandogli una sola spinta e poi abbandonandolo a se stesso, ed in questo caso dicesi *istantanea*, può poi operare sul corpo durante il moto di questo, ed allora dicesi *continua* o *acceleratrice*. Supposto che sia continua, può per tutto il tempo operare sempre con la stessa intensità o con intensità diverse, nel primo caso dirassi *continua costante*, *continua variabile* nel secondo. La pietra lanciata dalla nostra mano sarà spinta da forza istantanea. Il vento che fa impeto sulle vele di una nave sarà una forza continua (1).

La forza istantanea, per l'inerzia della materia, dovrebbe impartire una data velocità ad una massa qualunque la quale velocità non dovrebbe nè crescere nè scemare, astrazion fatta da ogni altra forza o resistenza, vale a dire che la velocità dovrebbe rimanere costante. Ora il moto in cui la velocità è costante, o che vale lo stesso, con cui il mobile percorre spazî uguali in tempi uguali dicesi *moto uniforme*, ne segue perciò che la forza istantanea tenderebbe a generare moto uniforme se altre forze perturbatrici non venissero in campo. Questo moto quindi che sarebbe il più agevole ad ottenere è il più raro e difficile: le sue leggi per altro sono semplicissime.

Nel moto oltre la direzione per cui può essere rettilineo o curvilineo, devesi distinguere lo *spazio* il *tempo* e la *velocità*. Lo spazio è la linea che il mobile percorre, il tempo è la durata del moto e la velocità è la ragion che passa tra lo spazio percorso ed il tempo speso a percorrerlo. Non si potrebbe mai acquistare un' idea

(1) Una forza veramente istantanea è più un' astrazione che un fatto, perocchè ogni forza opera sul mobile per un determinato tempo che può talvolta essere anche impercettibile. La palla ch'esce da un' arma da fuoco è sotto la forza esplosione dei gas che si genera nell'accendersi della polvere, per tutto il tempo che rimane nella canna.

della velocità senza paragonare lo spazio col tempo. Chi vi dicesse che la luce viene dal sole a noi percorrendo 34 milioni di leghe in 8′ e 13″ vi farebbe acquistare l'idea della somma velocità con cui essa si propaga.

La velocità del moto uniforme si misura misurando lo spazio che il mobile percorre in ogni unità di tempo; così se un battello a vapore andasse con moto uniforme percorrendo 10 miglia in ogni ora, questo spazio sarebbe la misura della sua velocità. Ora è chiaro che l'anzidetto battello in due ore percorrerebbe 20 miglia, in 3 ore 30 miglia ec., per cui lo spazio percorso dopo un tempo qualunque si avrà moltiplicando il tempo per la velocità, la velocità si otterrà dividendo lo spazio pel tempo, ed il tempo dividendo lo spazio per la velocità (1).

Dalle cose dette non sarà malagevole l'intendere 1.° che gli spazî percorsi da due mobili con moto uniforme sono tra loro in ragion composta della diretta de' tempi e delle velocità, e che se gli spazî fossero eguali i tempi sarebbero in ragion reciproca delle velocità.

2.° Che le velocità sono in ragion composta della diretta degli spazî e della inversa de' tempi e che se le velocità fossero eguali gli spazî sarebbero come i tempi.

3. Finalmente che i tempi sono in ragion composta dalla diretta degli spazî e dalla inversa delle velocità, e nel caso di tempi eguali, gli spazî sono come le velocità (V. la nota precedente).

Quantità di moto. — Noi giudichiamo il moto più intenso in ragione della massa che si muove e della velocità con cui si muove, e però la quantità di moto si esprime col prodotto della massa per la velocità. E per fermo, se supporrete una forza la quale muova successivamente delle masse di una libbra, di due libbre, di tre libbre ec. è chiaro che essendo la forza la stessa, le quantità di moto dovranno essere eguali, ma dinotando con 1 la velocità della massa di una libbra s'intenderà quella di 2 esser $1/2$, quella di 3 essere $1/3$ ec., per cui moltiplicando ciascuna massa per la rispettiva

(1) Dinotando con S, T, V lo spazio, il tempo e la velocità del moto uniforme si avrà $S=TV$, $V=\frac{S}{T}$ e $T=\frac{S}{V}$; e dinotando con s, t e v lo spazio, il tempo e le velocità di un altro corpo che pur si muova con moto uniforme, si potranno trovare le attenenze tra gli spazi i tempi e le velocità di due moti uniformi. Ed in prima si avrà $S:s=TV:tv$, e se fosse $S=s$ sarebbe eziandio $TV=tv$ ossia $T:t=v:V$.

Paragonando le velocità si ha $V:v=\frac{S}{T}:\frac{s}{t}$, e se fosse $V=v$ si avrebbe $\frac{S}{T}=\frac{s}{t}$ e quindi $S:T=s:t$ e permutando $S:s=T:t$.

Similmente si procederebbe paragonando i tempi.

velocità si avranno prodotti eguali, i quali indicano le eguali quantità di moto. Ecco perchè può dirsi che la quantità di moto è *il prodotto della massa per la velocità di un corpo*. E poichè la quantità di moto è l'effetto della forza motrice così i meccanici sogliono nell'anzidetto prodotto considerare eziandio la misura della forza, il che per altro non si potrebbe stabilire *a priori* se l'esperienza non sostenesse dal canto suo cotesta supposizione, perocchè potrebbe ben darsi che le velocità sopra masse uguali non diventassero doppie triple ec. mercè forze doppie triple ec., ma che le forze fossero, per esempio, come le radici quadrate delle velocità (1).

Vi fu infatti una famosa disputa tra i fisici della scuola di Cartesio e quelli della scuola di Leibiniz intorno al modo di misurare le forze vive, i primi sostenendo doversi moltiplicare la massa per la velocità ed i secondi affermando doversi la massa moltiplicare per lo quadrato della velocità. Questa quistione trovavasi ancora agitata nella seconda metà dello scorso secolo per cui potete riscontrarla in molte opere di fisica di quel tempo (2).

Se dunque la quantità di moto è il prodotto della massa per la velocità ne segue, la velocità essere eguale alla quantità di moto divisa per la massa, e questa alla quantità di moto divisa per la velocità (3).

Paragonando due quantità di moto sarà agevole il persuadersi che queste crescendo col crescere le velocità, poste le stesse masse, e crescendo col crescere di queste, poste le stesse velocità, debbano essere tra loro in ragion composta della diretta delle masse e delle velocità. E posto che due quantità di moto siano eguali, le masse saranno in ragion reciproca delle velocità. Agevole riesce eziandio trovare le attenenze tra le masse come pure tra le velocità, e conchiudere, che nel caso di masse eguali, le quantità di moto esser debbono come le velocità, e nel caso *di velocità eguali, le quantità di moto e quindi anche le forze motrici debbano essere proporzionali alle masse.*

(1) V. le opere del Reid vol. 1.

(2) V. il P. della Torre *scienza della natura* t. 1 in cui sono anche riferite alcune sperienze di Pietro di Martino fratello di Niccola illustri matematici nati in Faicchio mia terra natale.

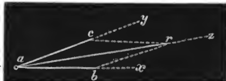
(3) Dinotando con Q, M, V la quantità di moto la massa e la velocità di un corpo si ha $Q=MV$, $M=\frac{Q}{V}$ e $V=\frac{Q}{M}$; e se con q, m, v dinoteremo le stesse cose per un altro corpo, avremo $q=mv$ ec. onde paragonando le quantità di moto si avrà $Q: q=MV: mv$, e se fosse $Q=q$ sarebbe $MV=mv$ ossia $M: m=v: V$. Per paragonare le masse tra loro non che le velocità si procede col metodo della nota antecedente p. 17. Ciocchè si dice delle quantità di moto si ripeterà per le forze motrici.

Le forze continue o acceleratrici non si possono misurare senza tener conto del tempo in cui hanno operato, perocchè una forza minore può in un tempo più lungo produrre velocità eguale o anche maggiore di quella ch'è generata da una forza maggiore, operando entrambi sopra masse eguali. Indicheremo da qui a poco il modo di misurare le forze continue costanti, dovendo indicare le leggi del moto uniformemente accelerato.

Composizione e risoluzione delle forze. — Supponendo che più forze spingano nello stesso tempo un punto materiale o altrettanti punti di un medesimo corpo solido è chiaro che sarebbe sempre possibile sostituire una sola forza a tutte queste capace di operare il medesimo effetto, purchè da tutte queste forze il punto o il corpo non fossero rimasti in equilibrio, nel quale caso non sarebbe possibile più sostituire una sola a due o più forze.

Supponendo da prima due sole forze operanti sopra uno stesso punto, possonsi considerare tre casi, o che le due forze operino per lo stesso verso, o per versi contrarî, o finalmente ad angolo, cioè per due diverse direzioni. Nel primo caso è chiaro che la risultante debba essere eguale alla somma delle componenti, nel secondo eguale alla differenza ; ma non così agevole riesce determinarla nel terzo. I meccanici però in varî modi han dimostrato dopo il Galilei ed il Newton che la risultante di due forze che operino ad angolo sopra un dato punto sia espressa dalla diagonale del parallelogrammo i cui lati siano due linee rette esprimenti le due forze e comprendano l'angolo che queste fanno tra loro. E questo è ciocchè dicesi *parallelogrammo delle forze*. Così il punto materiale *a* (*fig.* 4.) spinto contemporaneamente da due forze operanti per le direzioni *a x*, *a y* e le cui intensità fossero espresse da *a b*, *a c* ossia

FIG. 4.



che per effetto della prima dopo un dato tempo dovrebbe trovarsi in *b*, e per la seconda dopo lo stesso tempo dovrebbe trovarsi in *c*, la risultante sarebbe espressa in direzione da *a z* ed in intensità da *a x*, vale a dire che il punto materiale *a* nel tempo indicato percorrerebbe la diagonale *a r* del parallelogrammo *c b*. Questa proposizione che trovate in principio di tutt' i trattati di meccanica razionale è stata in mille modi dimostrata, ed ogni dimostrazione ha presentato le sue difficoltà : non potendo noi entrare in così lunghe e sottili disputazioni, ci faremo a dimostrarla nel modo che fu da Isacco Newton la prima volta dimostrata.

La forza $a\,c$ essendo parallela al lato $b\,r$ non può nè accostare il punto a al lato $b\,r$, nè scostarnelo. Dunque il punto a giungerà per le due forze $a\,c$, $a\,b$ al lato $b\,r$ nello stesso tempo in cui vi giungerebbe per la sola forza $a\,b$. Similmente si dimostra che il punto a giungerà al lato $c\,r$ nello stesso tempo. Dopo questo stesso tempo dunque il punto a dovrà trovarsi tanto sul lato $b\,r$ quanto sul lato $c\,r$, si troverà dunque in r. Si potrebbe facilmente dimostrare col medesimo ragionamento che dopo la metà del tempo suddetto il punto a avrebbe dovuto trovarsi sulla metà della diagonale ec. Dalle cose dette segue che contrapponendo al punto a una forza pari ad $a\,r$ ma diretta da r verso a, questo punto dovrebbe rimanere in equilibrio, per cui la risultante può anche definirsi, quella forza che opponendosi all'azione di due o più riduce il sistema in equilibrio.

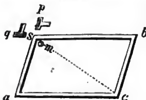
È chiaro poi che se le forze sono eguali la risultante dividerà l'angolo di esse forze per metà, e se sono dissuguali la risultante si accosterà alla componente maggiore.

Se l'angolo delle forze diviene maggiore la risultante diviene più piccola, e per contro diviene maggiore se l'angolo delle forze sia più piccolo, onde con le stesse componenti si possono avere diverse risultanti facendo variare l'angolo; e però trovare la risultante quando sono date semplicemente le componenti è problema indeterminato, vale a dire capace di più soluzioni.

Nel caso di $c\,r$ eguale ad $a\,b$, nel triangolo $a\,c\,r$ non potendo mai i due lati $a\,c$ e $c\,r$ essere eguali ad $a\,r$ ne segue che fino a che due forze fanno angolo non potrà mai la risultante essere eguale alla somma delle componenti.

I fisici sonosi ingegnati a rendere aperta la verità quì sopra esposta per via di qualche sperienza, ma i loro congegni veramente non possono valere come mezzi acconci a verificare con precisione i risultamenti del raziocinio. Potrete riscontrare la descrizione di questi congegni in molte opere di fisica: io mi limiterò ad indicarvene uno conosciuto nelle scuole col nome di trucco (*bigliardetto*).

FIG. 5.



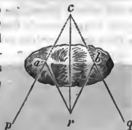
Sopra una tavola rettangolare (*fig.*5.) $a\,b$ in uno de' suoi angoli si colloca una palla di avorio m la quale mercè due martelli sospesi p e q i quali si fanno calare a guisa di due pendoli, vien colpita secondo le direzioni $s\,b$, $s\,a$ da due urti che siano presso a poco come questi lati, il che si consegue facendo cadere i martelli da due altezze diverse capaci di produrre questi due urti; la palla allora

percorrerà la diagonale s c. Con questo principio si dà ragione di parecchi fenomeni. Una barca tirata mercè due funi secondo due diverse direzioni cammina secondo la diagonale del parallelogrammo formato nell'angolo delle funi. Chi si precipita dalla carrozza quando questa corre con molta velocità non può restarsi ritto sul suolo ma è stramazzato a terra trovandosi ad un tempo menato orizzontalmente dalla spinta ricevuta dalla carozza e verticalmente dalla gravità ec. (1).

Se le forze operanti sopra un medesimo punto invece di essere due fossero più, anche tre casi possono darsi; o che tutte operino per lo stesso verso, o alcune per un verso ed altre per verso contrario o per tante direzioni per quante sono le forze. Nel primo caso la risultante è eguale alla somma delle componenti, nel secondo alla differenza delle due somme, nel terzo poi la risultante si trova con la regola del parallelogrammo delle forze, perocchè si comincia dal trovare la risultante di due delle forze date, indi si trova la risultante di questa con un' altra delle componenti è così si continua fino all' ultima che sarà la risultante di tutte le forze.

Supponendo poi due forze applicate a due punti di un medesimo sistema rigido, o le direzioni di queste s' incontrano o sono parallele. Nel primo caso prolungate le forze e fatto il parallelogrammo nell' angolo di esse si avrà con la diagonale la risultante cercata. Uno sguardo alla figura basterà a far meglio intendere quello che dicevamo. Se le due forze a p, b q (*fig.* 6.) applicata a' due punti a e b del sistema rigido a b prolungate convengono nel punto c, allora tagliate le rette c a e c b eguali respettivamente ad a p e b q e compiuto il parallelogrammo, la diagonale c r rappresenterà la risultante cercata.

FIG. 6.

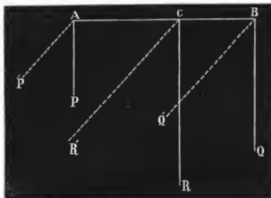


Ma se le due forze fossero parallele, potranno operare o per lo stesso verso o per versi contrarî; nel primo caso la risultante è eguate alla somma delle componenti, è parallela alle medesime e passa per un punto che divide la distanza tra le forze in ragion recipro-

(1) Le applicazioni al volo degli uccelli al moto delle navi ec. potranno farsi a voce dal professore il qoale secoodo la rapacità degli allievi potrà mostrare, perchè una pietra che sceodesse da grande altezza dovrebbe solo prossimamente ma non esattamente radere nel puoto sottoposto nella medesima verticale, perchè la palla di cannone tirata nella direzione del meridiano per la diversa velocità di rotazione de' due paralleli di quello ove è sitoato il cannone cioè e di quello ove è il bersaglio, debba approssimarsi allo scopo ma non perfettamente colpirlo ec.

ca delle forze stesse. Così se le due forze parallele siano *A P* e *Q B* (*fig.* 7.) la risultante *CR* dovrà essere eguale alla somma delle componenti, dovrà essere parallela alle medesime e dovrà passare per un punto *C* della linea che congiunge i punti *A* e *B* tale che stia *AP*: *BQ* = *BC*: *CA* in modo per esempio che se *AP* fosse la metà di *BQ* , *AC* dovrebbe essere doppia di *BC*. Lasciando la dimostrazione di questa verità, come son costretto a fare spesso in queste nozioni di meccanica in cui assumo solo alcune proposizioni di cui la fisica ha bisogno, vi fo osservare che se le due forze cangiassero direzione restando tuttavia parallele in guisa da essere dirette secondo AP′, AQ′, la nuova risultante cangiando direzione per ridursi parallela alla nuova direzione delle componenti dovrà tuttavia passare per lo punto *C*. Laonde quel punto per lo quale sempre passa la risultante sia quale si voglia la direzione delle forze purchè restino parallele, dicesi *centro delle forze parallele*.

FIG. 7.



Che se le forze parallele siano dirette per versi contrarî allora la risultante sarà eguale alla differenza delle componenti diretta secondo la maggiore di esse e passerà per un punto preso sul prolungamento della linea che unisce i punti di applicazione delle due componenti in modo che stia *AP*: *BQ* = *CB* : *CA*. (*fig.* 8).

FIG. 8.

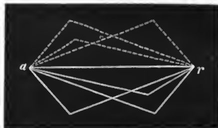


Se finalmente le due forze fossero eguali parallele ed opposte, nascerebbe ciocchè in meccanica dicesi una *coppia* dalla quale si ha moto di rotazione fino a che le forze non si riducono per direzioni contrarie, perchè allora si comporranno in equilibrio.

Le forze parallele potranno essere più di due, ma dalle cose dette non sarà malagevole trovando prima la risultante di due, poi la risultante di questa con un'altra delle componenti e così appresso, pervenire alla risultante di un numero qualunque di forze parallele.

Se per la composizione delle forze si può sostituire una sola forza a due o più forze avendo gli stessi effetti, ognuno intenderà di leggieri essere possibile ad una sola forza sostituirne due o più le quali insieme operando diano lo stesso effetto che dalle due o più sarebbe derivato; or questo problema ch' è l'inverso di quello della composizione, dicesi della *risoluzione delle forze*. Anche questo nella sua generalità è indeterminato, perocchè supponendo per esempio che si voglia risolvere una forza in due che siano applicate al medesimo punto, s'intende potersi questo ottenere in un infinito numero di modi, potendo una stessa linea come *a r* esser diagonale d'infinito numero di parallelogrammi (*fig.* 9.)

FIG. 9.



Comunicazione del moto. — I corpi oltre alle forze che sono insite in essi possono ricevere l'azione ovvero subire l'impulso di altre forze, ossia possono muoversi o modificare il loro moto per effetto dell'urto di altri corpi. La meccanica ha investigato le leggi secondo le quali interviene la comunicazione del moto nel caso dell'urto de' corpi. L' urto si distingue in *diretto* ed *obbliquo*; si ha il primo quando la linea dell'urto è perpendicolare alla superficie urtata, e se non lo è si ha il secondo. Si distingue inoltre l'urto in *centrale* ed *eccentrico* secondochè la linea dell' urto passa o pur no per lo centro di gravità del corpo, punto che tra poco impareremo a conoscere. La forza che fa impeto sopra di un corpo per porlo in moto per lo più si applica immediatamente solo sopra un piccolo numero di molecole, e però la massa intera del corpo non potrà muoversi se non quando il moto si è trasmesso a tutte le molecole; così la palla di cannone direttamente riceve l'urto solo nella superficie dell'emisferio interiore dalla forza espansiva del fluido aereo che si svolge coll'accendersi della polvere, e frattanto il moto si diffonde a tutte le molecole. In ogni macchina voi vedete la forza motrice applicata ad alcune parti dalle quali il moto alle altre si trasmette. È però che quando siete in carrozza nel principio del moto sentite urtarvi le spalle e quando improvvisamente si

ferma, siete spinto dalla parte d'avanti. Affinchè il moto passi dalle molecole direttamente ed immediatamente spinte dalla forza alle rimanenti, è mestieri di un certo tempo. Per la qual cosa se un corpo ne urti un altro con velocità grandissima spesso interviene che le molecole direttamente colpite si staccano dalle altre prima che il moto a queste venga partecipato, e quindi esse si rimangono in quiete, nell'atto che se la velocità del corpo urtante fosse stata minore ci sarebbe stato tempo a diffondere il moto a tutta la massa. Di qui è che una palla tirata con un archibuso contro una lastra di vetro spesso la perfora senza spezzarla, in quello che tirata con la mano la ridurrebbe in molti pezzi. Si giunge talvolta a perforare le pareti di un bicchiere tenuto in bilico sopra di un pernio senza fargli perdere l'equilibrio. Erasi pensato di poter menare un capo di una fune a'naufraghi per poterli tirare al lido, legando questo capo ad una bomba tirata da un mortajo, ma venendo alla prova fu visto partire la bomba con un pezzo della fune prontamente staccato dalla rimanente che si giacea accanto al mortaio. Il capitano Carter con un'ingegnosa disposizione è giunto finalmente a poter lanciare una fune per mezzo di un razzo. Oltre a queste considerazioni nell'urto de' corpi è da por mente alla forza che i medesimi manifestano in virtù della loro elasticità, onde i meccanici sonosi veduti astretti a considerare i corpi o come perfettamente privi di elaterio, cioè duri o molli, o come interamente elastici ed han cercata in ambo i casi la soluzione de' due seguenti problemi.

1° Date le masse e le velocità di due corpi che si urtino quale sarà la velocità di ciascuno dopo l' urto, considerata per rispetto a quella ch'essi aveano innanzi l'urto?

2° Quale sarà la quantità di moto che si comunica con l'urto?

Cercheremo la soluzione di questi due problemi considerando l'urto diretto e centrale, ed i corpi come privi di elasticità. Allora la velocità dopo l'urto sarà la stessa tanto nel corpo urtante quanto nell'urtato: laonde noi cercheremo la comune velocità dopo l'urto date le masse e le velocità dell' urtante e dell' urtato prima dell'urto.

Il problema allora si può distinguere in tre casi, perocchè o due corpi entrambi in moto si urtano per la stessa direzione, o uno in moto ne urta un altro in quiete o finalmente essendo entrambi in moto si urtano per direzioni contrarie.

Nel 1° caso non essendovi conflitto la quantità di moto dopo l'urto dovrà essere eguale alla somma delle quantità di moto dell'urtante e dell'urtato, e però la comune velocità si avrà dividendo la somma delle quantità di moto anzidette per la somma delle mas-

se. Così se un corpo di massa 8 e con velocità 9 ne urtasse un altro di massa 4 e con velocità 6, essendo la quantità di moto del primo eguale ad 8×9 overo 72, e la quantità di moto del secondo eguale a 4×6 cioè 24, la comune velocità si avrà dividendo la somma di 72 e 24, ch'è 96, per la somma delle masse ch'è 12; ed eseguendo questa divisione si avrà l'anzidetta comune velocità dopo l'urto espressa da 8; vale a dire che se l'urtante prima si muovea con velocità di 9 piedi a minuto secondo e l'urtato di 6 piedi a minuto secondo, dopo l'urto correranno insieme con una comune velocità per la quale percorreranno 8 piedi a minuto secondo.

2. Se poi l'urtato fosse in quiete allora dividendo la quantità di moto che l'urtante avea prima dell'urto per la somma delle masse, si avrà la comune velocità dopo l'urto. Ed è chiaro che se la massa del corpo urtato fosse pari a quella dell'urtante, diventando la massa totale doppia di quel che era, la velocità dopo l'urto dovrà diventare la metà, similmente diventerebbe la terza parte se la massa urtata fosse doppia dell'urtante e così appresso, onde se la massa del corpo urtato fosse infinita per rispetto a quella dell'urtante, la comune velocità dopo l'urto sarebbe infinitesima.

3. Se finalmente i due corpi si urtassero per direzioni contrarie, è chiaro che la quantità di moto dopo l'urto dovrà essere la differenza delle due quantità di moto prima dell'urto, percui dividendo questa per la somma delle masse si avrà la comune velocità. Quindi se le quantità di moto de'due corpi fossero eguali essi resterebbero in quiete dopo l'urto, il che avverasi o quando hanno masse e velocità eguali, o quando le masse siano in ragion reciproca delle velocità (1).

Venendo ora al secondo problema, diciamo che conosciuta la comune velocità dopo l'urto, se questa si moltiplichi per la massa dell'urtante si avrà l'attuale sua quantità di moto, la quale sottratta

(1) Dinotando con M, ed m le masse de'due corpi duri o molli e con V e v le loro velocità, la comune velocità dopo l'urto per lo primo caso sarà espressa da $x = \frac{MV + mv}{M + m}$, e facendo $mv = o$ si avrà pel secondo caso $x = \frac{MV}{M + m}$, in cui se fate $M = m$, si avrà $x = \frac{MV}{2M} = \frac{V}{2}$, e se pongasi $m = \infty$ ne verrà $x = \frac{MV}{M + \infty}$, vale a dire x infinitesima. Se nella formola $x = \frac{MV}{M + m}$ fosse nota x si potrebbe allora ottenere V in funzione di M, m ed x. Così non potendo direttamente misurare la velocità della palla di cannone, si è questa diretta contro una grossa massa sospesa, detta pendolo ballistico, e si è determinata la comune velocità dopo l'urto, fatta tanto minore per quanto la massa urtata è stata più grande, allora si è potuto sapere quale era la velocità V che si cercava. V. il Pouillet.

L'espressione finalmente della comune velocità nel terzo caso è chiaro doversi esprimere con $x = \frac{MV - mv}{M + m}$

da quello che il medesimo avea innanzi l'urto si avrà la quantità di moto comunicata, e questa quantità di moto si troverà nel corpo urtato purchè l'urto non sia avvenuto per direzioni contrarie, nel quale caso l'urtato avrà solo una parte del moto perduto dall'urtante.

Se poi i corpi che si urtano si considerino come elastici, allora è da por mente alla forza con la quale si restituiscono alla primiera configurazione, la quale è mestieri che eguagli l'altra con cui furono nell'urto compressi. Una palla di avorio, per esempio, fatta cadere contro di un piano orizzontale di marmo, rimbalza per la stessa linea per la quale è discesa, e ciò perchè dopo di essersi schiacciata alquanto con l'urto, nel riprendere la sua configurazione ricalcitra contro del piano e torna indietro salendo. Ed i fisici per rendere aperto cotesto momentaneo schiacciarsi della palla di avorio spalmano da prima il marmo con una materia oleosa, perchè allora osservano l'orma che la palla lascia sul marmo espressa da una superficie circolare più o meno ampia, la quale indica che la palla non serbò la sua figura sferica incontrando il marmo altrimenti avrebbe dovuto toccarlo in un sol punto.

Ciò premesso, considerando i corpi come perfettamente elastici, s'intende che la quantità di moto che si viene con l'urto a comunicare deve essere il doppio di quella che si comunicherebbe se fossero molli o duri. Quindi se un corpo elastico in moto ne urti un altro in quiete di massa a se eguale, il primo resterà fermo ed il secondo si muoverà con tutta la quantità di moto di quello, imperocchè se i due corpi anzidetti di masse eguali fossero stati molli o duri, l'urtante avrebbe dovuto dare la metà del suo moto all'urtato, ma l'altra metà ha dovuto comunicarla in virtù di sua elasticità, dunque ha dovuto comunicare tutto il suo moto al secondo e porsi in quiete. Quindi se immaginate una serie di globi di avorio sospesi in guisa che stiano tutti nella stessa linea orizzontale, rimosso il primo dalla verticale e poi abbandonato in modo che cadendo urti il secondo, allora perchè quello comunica tutto il suo moto a questo resta in quiete, ma il secondo perchè comunica tutto il moto al terzo neppure si muove e così successivamente, perciò si muoverà solo l'ultimo come quello che non ha altro globo cui possa comunicare il suo moto.

Se il corpo urtato in quiete avesse una massa doppia dell'urtante allora, se i corpi fosser molli, l'urtato avrebbe dopo l'urto $^{2}/_{3}$ della quantità di moto dell'urtante, ma essendo elastici ne dovrà avere $^{4}/_{3}$, cioè l'urtato avrà dopo l'urto una quantità di moto maggiore di quella che l'urtante avea innanzi l'urto, e questo, resterà con un terzo di moto negativo, come direbbero i matematici, il che importa che torna indietro dopo dell'urto con una forza ch'è la

terza parte di quella che possedeva prima dell'urto. Questa forza di ripercossa con cui l'urtante ritorna diviene maggiore se maggiore è la massa del corpo urtato, di modo che se questa fosse infinita il corpo urtante rimbalzerebbe con una quantità di moto eguale a quella che avea prima dell'urto.

Muovendo dal medesimo principio si potrà benanche intendere che se due corpi elastici di masse eguali si urtino per la stessa direzione, dopo l'urto cammineranno con le velocità e con le quantità di moto permutate; vale a dire che se un corpo elastico di massa 6 per esempio e con velocità 8 ne urti un altro per la stessa direzione di massa 6 e con velocità 2, dopo l'urto il primo si muoverà con quantità di moto 12 e velocità due per conseguenza, ed il secondo con quantità di moto 48 e quindi con velocità 6. E per fermo considerate tali corpi come molli e troverete, per le cose dette poco fa, che la quantità di moto che dal primo si comunicherebbe al secondo sarebbe 18, ma questa deve duplicarsi perchè i corpi sono elastici, quindi sarà 36; ma l'urtante ne avea 48, ad esso dunque rimane una quantità di moto 12; similmente si troverebbe all'urtato appartenere l'antica quantità di moto dell'urtante cioè 48.

Se poi due corpi elastici di masse eguali si urtassero per direzioni contrarie con velocità dissuguali, rimbalzerebbero entrambi dopo l'urto con le velocità eziandio permutate. Questa ed altre proposizioni si dimostrano col supporre prima i corpi come molli o duri e trovata la quantità di moto che sarebbesi comunicata col prenderne poscia il doppio. Io ho voluto solo notare qualche verità di cui avrò bisogno più innanzi, e non esporre la teorica generale dell'urto dei corpi elastici la quale ha bisogno dell'aiuto dell'analisi algebrica (1).

(1) Le formole relative all'urto de'corpi elastici si deducono da quelle che riguardano l'urto de'corpi duri o molli e che di sopra abbiamo riferite, ponendo mente alla forza con cui i corpi elastici si restituiscono alla primiera figura la quale forza raddoppia i risultamenti. E per fermo se i corpi fosser molli o duri muoventisi per la stessa direzione, la comune velocità dopo l'urto sarebbe $=\frac{MV+mv}{M+m}$, e la quantità di moto dell'urtante dopo l'urto sarebbe $M\frac{(MV+mv)}{M+m}=\frac{M^2V+Mmv}{M+m}$, e però la quantità di moto perduta dall' urtante sarebbe

$$MV-\frac{M^2V-Mmv}{M+m}=\frac{MmV-Mmv}{M+m};$$

ma l'urtante perchè elastico deve perdere altrettanto, perderà dunque $\frac{2MmV-2Mmv}{M+m}$, e resterà perciò con una quantità di moto espressa da

$$MV-\frac{2MmV-2Mmv}{M+m}=\frac{2MV-MmV+2Mmv}{M+m}.$$

Trovata la quantità di moto che l' urtante ha perduta non sarà malagevole

Resistenza de' mezzi.—Quando un corpo si muove, generalmente va incontro a due generi di ostacoli per cui consuma alla fine il suo moto, se la forza motrice non continua ad operare. La prima di queste resistenze nasce dallo sfregamento delle parti del mobile contro i corpi che lo sostengono, come sarebbe l'asse di una girella contro le pareti de' fori ne' quali s'impernia, e questa dicesi *resistenza di attrito*; l'altra proviene dal mezzo nel quale il corpo si muove, sia liquido sia fluido aeriforme, e che dicesi *resistenza di mezzo.*

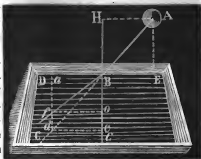
La prima dipende specialmente dal peso del corpo e dalla natura delle superficie che soffrono lo sfregamento, la seconda dalla figura, dal volume e dalla velocità del corpo che si muove, non che dalla natura del mezzo in cui si muove. Noi non possiamo quì indicare le regole che la meccanica insegna per misurare cosiffatte resistenze, ma solo vogliamo dimostrare che le resistenze de'mezzi debbono, poste le altre cose eguali, crescere come i quadrati delle velocità; imperciocchè se un corpo si muove con velocità doppia di un altro, deve nello stesso tempo spostare un volume doppio del fluido che attraversa e deve comunicargli una velocità pari alla sua, cioè doppia di quella del primo; dovendo dunque dare ad una massa doppia una velocità doppia, dovrà comunicare una quantità di moto quadrupla, e però dovrà perdere una tale quantità di moto, la quale è appunto quella che con espressione poco conveniente si denomina resistenza di mezzo, similmente si dimostrerebbe che con una velocità tripla si avrebbe una resistenza nonupla ec.

Moto rifratto.— Quando un corpo passa da un mezzo più o meno resistente in uno meno o più resistente, esso devia dalla sua primiera direzione in due maniere: se il secondo mezzo è più resistente ossia più denso del primo, la direzione del mobile si allontana dalla perpendicolare tirata alla superficie di separazione dei due mezzi, dal punto ove il mobile è penetrato; 2.° se il secondo mezzo è meno denso del primo, allora interviene il contrario, vale a dire che la direzione del mobile si accosta alla perpendicolare di

conoscere la sua velocità dopo l' urto. Il maestro svolgerà queste formole applicandole a' vari casi, e mostrerà come si possa similmente procedere se due corpi elastici si urtino per direzioni contrarie. Gli allievi che conoscessero l' algebra potranno trovare questa materia più largamente esposta in moltissime opere anche di fisica come in quella del Gerbi p. e.

cui di sopra è detto. E per fermo, supponete che il globo *A* venga lanciato dall'aria nell'acqua per la direzione *AB* (*fig.* 10) obbliquamente alla superficie *DE* del liquido; dinoti *AB* non solo la direzione, ma anche la intensità della forza con cui il globo *A* giunge alla superficie *AB* di separazione de' due mezzi. Risolvendo la forza *AB* in due, *AE* perpendicolare alla superficie del liquido ed *AH* parallela alla medesima, è chiaro che se il liquido non presentasse per la sua maggiore densità una maggiore resistenza, la palla dovrebbe muoversi in esso in virtù delle due forze *Ba* eguale ad *AH*, e *Bc* eguale ad *AE* ovvero ad *HB*, quindi verrebbe per *Bd*, ossia seguiterebbe il suo moto in linea retta senza rifrazione, ma per la maggior resistenza dell' acqua la componente *Bc* sarà diminuita, e diverrà per esempio *Bo*, onde la risultante sarà espressa da *Bf* ch'è più lontana dalla perpendicolare *BC*. Se il secondo mezzo fosse meno resistente del primo, non si durerà fatica ad intendere che dovrebbe il contrario intervenire. Onde si vede che chiamando l'angolo *HBA* angolo d'incidenza e l'altro *fBC* angolo di rifrazione, nel primo caso l'angolo d'incidenza è minore di quello di rifrazione, e nel secondo questo è minore di quello. È questo un fatto che i fisici sogliono rendere aperto con l'esperienza tirando con un archibuso per la stessa direzione una palla entro una vasca prima vuota e poi piena di acqua. La palla colpirà nel secondo caso un punto della parete ch'è al di sopra di quello innanzi colpito.

FIG. 10.

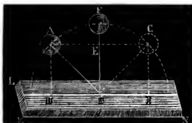


Dalle cose dette s'intende che se la palla cadesse perpendicolarmente nel liquido soffrirebbe bensì del ritardo ma non sarebbe deviata dalla sua direzione.

Moto riflesso. — Notavamo pocanzi, parlando dell'urto de' corpi elastici, come l'urtante dopo l'urto debba retrocedere per rimbalzo con una quantità di moto pari a quella che avea innanzi l'urto se la massa urtata fosse stata infinita per rispetto alla sua; or questo moto di rimbalzo è quello che dicesi moto riflesso. La riflessione del moto è dunque una conseguenza della elasticità. Essa si avvera con leggi più semplici di quelle che governano la rifrazione. Supponete

che un globo di avorio p. e. A (*fig.*11) sia spinto contro il piano *LN* di marmo secondo la direzione *AB* : innalzata dal punto *B* la perpendicolare *BF* e chiamando *angolo d' incidenza* l'angolo *ABF*, formato dalla linea percorsa dal mobile nel venir contro del piano con questa perpendicolare, ed *angolo di riflessione* quello formato dalla linea per la quale il corpo di rimbalzo ritorna con la medesima perpendicolare, si avvera che l'angolo d'incidenza risulta eguale a quello di riflessione posti l'uno da una parte e l'altro dalla parte opposta della perpendicolare, ed entrambi gli angoli sono nel medesimo piano. E per fermo, se la palla d'avorio cadesse perpendicolarmente cioè secondo *FB*, è chiaro che schiacciandosi contro del piano e poscia ritornando alla primiera figura dovrebbe ritornare indietro secondo la stessa direzione, ma cadendo obbliquamente secondo *AB*, si potrà la forza dell'urto risolvere in due una *AH* perpendicolare al piano e l'altra *AE* parallela al medesimo , ma la forza *AH* pari a *BE* è seguita da un'altra di rimbalzo eguale ad essa , e l' altra *AE* perchè parallela al piano rimane inalterata, dunque dopo l'urto il corpo starà sotto l'imperio delle due forze *BE* e *BI* eguale ad *AE*, e però dovrà venire riflesso secondo *BC*, ed allora paragonando i due triangoli *ABE*, *CBE* si vedrà agevolmente che l'angolo *ABE* è eguale all'altro *EBC*, e quindi anche gli angoli *ABH* , *CBI* saranno eguali.

FIG. 11.



Moto uniformemente accelerato e ritardato — Un corpo spinto da una forza sola istantanea procederebbe con velocità costante e quindi con moto uniforme, supposto che si potessero rimuovere tutti gli ostacoli, ma se il corpo fosse sotto gl'impulsi di una forza continua, è chiaro che la velocità andrebbe continuamente crescendo, ed il moto sarebbe accelerato; or supponete questa forza continua costante ed allora la velocità andrebbe crescendo in proporzione del tempo , ed il moto direbbesi *uniformemente accelerato.* Per la qual cosa il moto uniformemente accelerato può definirsi per *quel moto in cui le velocità crescono come i tempi*. Se poi mentre un corpo si muove per virtù di una forza istantanea, ad esso si opponga una forza continua, allora si avrà il moto ritardato e se questa sia anche costante, le perdite di velocità saranno anche come i tempi ed il moto dirassi *uniformemente ritardato.* La palla

menata con la mano sul pavimento dovrebbe muoversi con moto uniforme se la resistenza di attrito e l'altra di mezzo non rappresentassero delle forze continue dalle quali deriva in effetti il moto della palla ritardato. È però che in natura è impossibile avere con un solo impulso il moto uniforme, ma si può solo averlo mercè una forza continua la quale lotta contro le resistenze che rappresentano un'altra forza anche continua, o che vale lo stesso, da una forza acceleratrice ch'è in conflitto con una forza ritardatrice: così la molla che caricata rappresenta una forza continua durante il tempo in cui si svolge, può ne' cronometri generare moto uniforme. Ogni moto che non è uniforme dicesi *vario*, ed *uniformemente vario* dicesi tanto l'uniformemente accelerato quando l'uniformemente ritardato (1).

Se un corpo fosse mosso solo da una forza continua costante, supposte nulle le resistenze, vale a dire se andasse con moto uniformemente accelerato, e dopo un tempo qualunque la forza acceleratrice cessasse dall'operare, è chiaro che questo corpo continuerebbe a muoversi per virtù della velocità acquistata innanzi, la quale non potendo più crescere perchè la forza più non opera, e non potendo scemare attesa l'inerzia, non essendovi per ipotesi alcuna resistenza, ne segue che debba siffatta velocità rimanere costante ed il moto debba di uniformemente accelerato trasformarsi in uniforme.

La forza acceleratrice costante può misurarsi dalla velocità ch'essa impartisce all'unità di massa nella prima unità di tempo (2), e questa potrà conoscersi conoscendo lo spazio che questo corpo percorrerebbe con moto uniforme nella seconda unità di tempo, supposto cioè che la forza acceleratrice abbia cessato dall'operare dopo la prima. Supponete un corpo che nel primo minuto secondo muoveasi con moto uniformemente accelerato, cessando di operare dopo questo tempo la forza acceleratrice, nel seguente minuto secondo percorra con moto uniforme 100 palmi, diremo la forza acceleratrice avere nel primo minuto secondo impartita al mobile una velocità di cento palmi a minuto secondo.

Ciò premesso cerchiamo di risolvere i due seguenti problemi.

1° Data la velocità acquistata dal mobile durante la prima unità

(1) Da ciò segue la impossibilità di fare una macchina che per virtù di un primo impulso si muovesse sempre. È però il *moto perpetuo* fu un vano sogno de' pseudo meccanici.

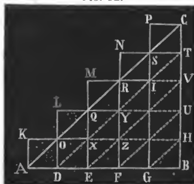
(2) Imperocchè se una forza acceleratrice costante desse in 1" di tempo ad una massa di una libbra una velocità come dieci, ed un'altra forza simile nello stesso tempo impartisse ad una massa eguale una velocità come 20, diremo la seconda forza esser doppia della prima.

di tempo quale sarà la velocità dopo un tempo qualunque? Dalla definizione del moto uniformemente accelerato s'intende che converrà moltiplicare la velocità data pel tempo. E per fermo se il corpo ha ricevuto nella prima unità di tempo una velocità **100** p. e., è chiaro che dopo **2**, **3**, **4** ec. unità di tempo essa diventerà **200**, **300**, **400** ec. (1).

2° Data la velocità della prima unità di tempo trovare lo spazio percorso dopo un numero qualunque di unità di tempo.

Per risolvere questo secondo problema bisogna prima di tutto ricordarsi che se il moto fosse uniforme lo spazio si avrebbe moltiplicando la velocità pel tempo, e siccome un prodotto puossi geometricamente rappresentare con un rettangolo, così lo spazio del moto uniforme potremo anche esprimerlo con un rettangolo che abbia per base una linea rappresentante le unità di tempo e per altezza un'altra che esprima la velocità costante durante questo tempo. Ciò posto ci faremo a dimostrare come lo spazio percorso dal mobile con moto uniformemente accelerato possa essere espresso da un triangolo rettangolo di cui un cateto rappresenti il tempo ed un altro la velocità. E per fermo, supponiamo che la retta *AB* (*fig.* 12)

Fig. 12.



rappresenti un numero qualunque di unità di tempo *AD*, *DE*, *EF*, ec. e che *AK* dinoti la velocità che il mobile acquistar dovrebbe durante il tempo *AD*. Se questa velocità la ricevesse tutta da principio invece di averla gradatamente, allora nel tempo *AD* con la velocità *AK* si avrebbe uno spazio espresso dal rettangolo *KD*. Se invece il mobile ricevesse questa velocità tutta in una volta alla fine della prima unità di tempo *AD* lo spazio percorso sarebbe nullo. Alla seconda unità di tempo *DE* la velocità deve diventare doppia di *AK* ovvero di *DO* vale a dire *DL*; or l'aumento *LO* che deve ricevere durante questa seconda unità di tempo supponendolo dato tutto dal principio di questa seconda unità di tempo, avremo con la velocità DL nel tempo *DE* lo spazio espresso dal rettangolo *LE*: ma se l'aumento di velocità *LO* venisse al mobile alla fine della

(1) Chiamando g la velocità della prima unità di tempo e v quella dopo un tempo t si avrà

$$v = tg.$$

seconda unità di tempo, allora esso muoverebbesi con la velocità *DO*, e nel tempo *DE* percorrerebbe uno spazio espresso dal rettangolo *OE*. Alla terza unità di tempo la velocità dovrà diventare tripla di *AK* vale a dire *EM*, ossia dovrà ricevere l'aumento *QM*; or se questo lo avesse tutto da principio di questa unità di tempo, lo spazio percorso sarebbe espresso dal rettangolo *MF*; se tale aumento lo ricevesse invece tutto alla fine del tempo anzidetto, lo spazio sarebbe rappresentato dal rettangolo *QF*. Continuando il medesimo ragionamento per le altre unità di tempo seguenti, se ne conchiude che nella ipotesi degli aumenti di velocità dati tutti al principio di ciascuna unità di tempo, lo spazio totale dopo il tempo *AB* sarebbe espresso dalla somma de' rettangoli *KD*, *LE*, *MF*, *NG*, *PB*, e supponendo tali aumenti dati tutti alla fine di ciascuna unità di tempo, lo spazio totale sarebbe dinotato dalla somma de' rettangoli *OE*, *QF*, *RG*, *SB*. La prima ipotesi deve darci uno spazio maggiore del vero, la seconda ce ne deve dare uno minore, e la differenza sarà tanto più piccola per quanto più piccole prendiamo le unità di tempo, ma allora si vede che le due somme di rettangoli tendono a confondersi con la somma degli spazî *ADO*, *DOQE*, *EQRF* ec. cioè col triangolo rettangolo *ABC* di cui *AB* dinota il tempo e *BC* la velocità (1).

Dalle cose dette apparisce che lo spazio percorso durante la prima unità di tempo sarà espresso dal triangolo *ADC*, e che se la forza acceleratrice cessasse dall' operare dopo questa prima unità di tempo, il mobile percorrerebbe nella seconda con moto uniforme uno spazio rappresentato dal rettangolo *OE* ch'è doppio del triangolo *ADO*. Ed in generale si può conchiudere che se dopo un tempo qualunque la forza acceleratrice cessasse dall' operare il mobile in altrettanto tempo con moto uniforme percorrerebbe uno spazio doppio.

Or se la forza acceleratrice si misura dalla velocità impressa all'unità di massa durante la prima unità di tempo, e questa velocità si misura dallo spazio che siffatta massa percorrerebbe durante la seconda unità di tempo con moto uniforme, supposto cioè che la forza acceleratrice abbia cessato di operare dopo la prima, ne segue che se è dato lo spazio percorso durante la prima unità di tempo

(1) Dinotando dunque con S lo spazio avremo

$$S=\frac{AB\times BC}{2},$$

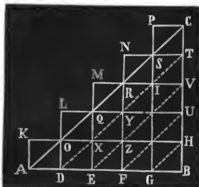
ma $AB=t$, e $BC=v=gt$; dunque

$$S=\frac{gt^2}{2}$$

il doppio di questo sarà la misura della velocità impressa e quindi della forza acceleratrice. E per contro se fosse data la misura di questa forza, la metà del numero che la esprime dinoterà lo spazio che corrisponde alla prima unità di tempo.

È chiaro inoltre che gli spazi percorsi dopo la, prima, la seconda, la terza unità di tempo ec. essendo dinotati da' triangoli *ADO*, *AEQ*, *AFR* ec. ed essendo il secondo quadruplo del primo, il terzo nonuplo, se ne conchiude, che gli spazî sono come i quadrati de' tempi. Laonde se un corpo con moto uniformemente accelerato abbia nella prima unità di tempo percorso uno spazio di tre palmi, dopo due unità di tempo questo spazio dovrà essere di 4 volte tre palmi, dopo tre unità di tempo di 9 volte tre palmi, dopo 4 di 16 volte tre palmi ec. Se gli spazî sono come i quadrati de' tempi, i tempi saranno come le radici degli spazî.

FIG 13.



Lo spazio descritto nella prima unità di tempo essendo espresso dal triangolo *ABC*, quelli descritti in ciascuna delle unità di tempo seguenti separatamente considerati sono espressi dai trapezî *DOQE*, *EQRF* ec.; ma *DOQE* è triplo di *ADO*, *EQRF* quintuplo ec.; onde segue che gli spazî parziali descritti in ciascuna unità di tempo sono espressi dalla serie de' numeri caffi 1, 3, 5, 7, 9, 11, ec. (1).

Il moto uniformemente ritardato si ha, come innanzi dicemmo, per effetto di due forze una istantanea per la quale il mobile andrebbe con moto uniforme, ed una continua costante che opera in opposizione alla prima, per cui si avvera che il mobile va perdendo velocità in ragione che cresce il tempo, e lo spazio percorso fino

(1) Tutte le indicate verità si potrebbero agevolmente ricavare dalle formole delle due note antecedenti. Ed in vero essendo

$$s=\frac{gt^2}{2},$$

facendo $t=1$ si avrà

$$s=\frac{g}{2}, \text{ e } 2s=g.$$

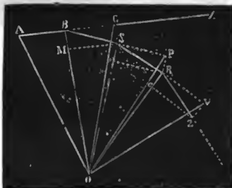
Facendo poi $\frac{1}{2}g=1$ si avrà $s=t^2$

alla estinzione del moto sarà la metà di quello che si sarebbe percorso con moto uniforme solo per effetto della prima forza.

Del moto per le traiettorie e della forza centrifuga. — Se sopra un corpo o un punto materiale opera una sola forza, questo corpo o questo punto si dovrà muovere in linea retta secondo la direzione della forza. Se d'altronde due o più forze omogenee unite ad angolo contemporaneamente facciano impeto sul detto corpo, esso si muoverà eziandio in linea retta secondo la direzione della risultante, la giacitura della quale dalla ragione delle forze e dall'angolo che le direzioni di queste fanno tra loro dipende, e però fino a quando siffatta ragione e l'angolo anzidetto non mutano, la risultante non potrà mutare direzione. Ma se intervenga che l'angolo o la ragione tra le forze variino, sarà pur mestieri che varî la direzione della risultante. E se tali variazioni si succedono ad intervalli di tempo maggiori o minori, le varie direzioni della risultante verranno a formare un poligono i cui lati saranno più o meno grandi secondo gl'intervalli tra una variazione ed un'altra, poligono che si trasformerà in una curva se quest'intervalli siano infinitesimi ovvero se le variazioni siano continue. Supponete un corpo che sia simultaneamente spinto da una forza istantanea e da una forza continua ed allora variando ad ogni momento la ragione delle forze, la risultante dovrà continuamente cambiare direzione, ed il mobile sarà menato per una curva che sarà la sua *traiettoria*.

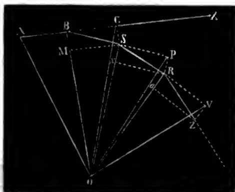
Ma per meglio intendere le condizioni dalle quali dipende il moto curvilineo supponghiamo che un corpo A sia contemporaneamente spinto secondo la direzione AX da una forza istantanea, e verso un centro O da una forza continua. È chiaro che per virtù della prima esso andrebbe con moto uniforme, onde diviso il tempo del moto in parti infinitesime, ne segue che se alla fine del primo tempuscolo fosse giunto in B alla fine del secondo giungerebbe in C ec. percorrendo spazî eguali. Ma se quando è in B operi sopra di esso la forza continua per la direzione BO e con intensità BM, com-

FIG. 14.



piuto il parallelogrammo, ne segue che il corpo dovrà descrivere la diagonale *BS;* e giunto in *S* continuerebbe innanzi secondo *SP* in modo che dopo un altro tempuscolo si troverebbe in *P* percorrendo un altro spazietto eguale a *BS*, ma poichè la forza continua ripete sul corpo la sua azione secondo *SO* e con intensità supponiamo pari ad *SN*, perciò si avrà la nuova risultante *SR*, e così continuando, ne' successivi tempuscoli, la linea del moto cangiando sempre direzione ne risulterà una curva con la concavità rivolta verso il centro *O*. Questa curva dicesi traiettoria, il centro *O* dicesi anche *fuoco*, e le rette che da questo punto si conducono alla periferia della curva *raggi vettori* si addimandano. La forza continua che tira il corpo verso il centro *O* si dice forza *centripeta*, e *tangenziale* o di proiezione la forza istantanea.

FIG. 15.



È agevole il dimostrare che le aree triangolari *ABO*, *BOS* ec. descritte dai raggi vettori in tempi eguali siano anche tra loro eguali, ossia in generale, che le aree triangolari sono come i tempi periodici, ch'è una delle tre famose leggi di Keplero.

Se la forza tangenziale e la centripeta facciano tra loro angolo retto, il moto sarà uniforme, accelerato se facciano angolo acuto ritardato se sia ottuso.

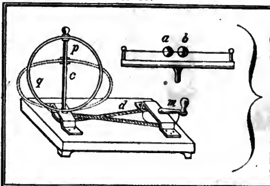
Dalle cose dette apparisce, che quante volte la forza centripeta abbandonasse il corpo, questo scapperebbe per la tangente menata per quel punto della traiettoria. Risolvendo poi la forza tangenziale in due una diretta secondo il successivo elemento della curva e l'altra perpendicolare alla medesima si avrà in quest'ultima una forza che tende ad allontanare il corpo dal centro, la quale propriamente dicesi *centrifuga*, ed è uguale alla centripeta. Queste forze insieme diconsi *forze centrali.*

Se un corpo stia legato all'estremo di un filo, l'opposto capo del quale sia raccomandato ad un punto fisso, e si spinga questo corpo perpendicolarmente al filo sicchè nasca il moto di rotazione, si avvertirà una forza che stirando il filo indica la tendenza che il corpo ha ad allontanarsi dal centro, questa cresce col quadrato

della velocità e scema col crescere la lunghezza del raggio (1) nel caso di masse eguali, ma quando le masse sono dissuguali cresce anche in ragione delle masse (2).

I fisici hanno un appòsito congegno per rendere aperta la forza centrifuga. Esso è dinotato dalla figura 16. siano *a* e *b* due palle di avorio o di legno infilzate ad un filo metallico teso in apposito telaio; fatto questo rotare intorno dell'asse che passi per mezzo a' due globi *a* e *b*, adattandolo cioè sul motore che gli è vicino nella figura, si vedranno le due sfere allontanarsi. Messa in vece sul motore anzidetto la molla circolare di acciaro o di ottone *pq* in girevole intorno dell' asse *pc* nel quale è infilzata in modo che possa per un foro scorrere liberamente, si vedrà questa molla schiacciarsi in guisa da offrire allo sguardo uno sferoide più o meno depresso secondo la maggiore o minore velocità di rotazione. D'onde pare potersi conchiudere che la terra riconoscer debba dal suo moto di rotazione la sua figura sferoidale. Sullo stesso motore possonsi applicare due vasi inclinati che contengano diversi fluidi come per esempio mercurio, acqua, olio ed aria, facendoli rotare intorno dell' asse del congegno, si vedrà invertito l'ordine della soprapposizione de' fluidi in guisa che il mercurio ch' era al fondo sarà a galla e l' aria verrà al fondo. Se si faccia rotare intorno del proprio asse un globo di cristallo pieno per circa due terzi di acqua si vedrà l'aria che occupava la parte superiore raccogliersi intorno all' asse a guisa di un cilindro, spingendo l'acqua al di fuori.

FIG. 16.



Lo scudiere che fa girare il cavallo sperimenta la forza centrifuga, e però se l' animale raddoppia la sua velocità, la mano dello scudiere dovrà fare uno sforzo quadruplo per mantenere il

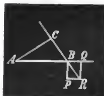
(1) La sua aspressione è $f = \frac{v^2}{r}$

(2) Allora si ha $f = \frac{mv^2}{r}$.

cavallo. Il convoglio sulla strada ferrata conviene che rallenti il corso quando percorre delle curve ec.

Momenti di rotazione. — L'efficacia di una forza nel generare un moto rotatorio è ciò che dicesi il suo momento di rotazione, e questo si misura moltiplicando la forza per la distanza di sua direzione dal centro intorno al quale la rotazione si esegue e che dicesi *centro de' momenti*. Sia AB una verga rigida girevole intorno al punto A, e BP una forza applicata perpendicolarmente ad essa, è chiaro che l'efficacia di questa forza crescerà in ragione che cresce la lunghezza AB della verga, ed in ragion che cresce la intensità della forza, e però il momento di rotazione sarà espresso dal prodotto di queste due quantità vale a dire da $BP \times AB$. Ma se la forza fosse BR applicata obbliquamente ad AB, allora risolvendo questa in due una BP perpendicolare e l'altra BQ per diritto ad AB, è chiaro che questa tendendo a trasferire AB, non deve essere considerata per rispetto alla rotazione la quale deriverebbe unicamente dalla componente BP, e quindi il momento di rotazione sarebbe $BP \times AB$. Ma abbassando dal centro A sulla direzione di BR la perpendicolare AC si trova che $BR \times AC = BP \times AB$ (1); onde senza risolvere la forza, basterà moltiplicarla per la distanza di sua direzione dal centro de' momenti. Lo stesso direbbesi se i momenti di più forze si riferissero ad un asse ovvero ad un piano.

FIG. 16.



Quando più forze formano un sol sistema la meccanica insegna che il momento della risultante è eguale alla somma ovvero alla differenza de' momenti delle componenti secondo che esse tendano a girare il sistema per lo stesso verso o per versi contrarî.

LEZIONE VI.

DELLA GRAVITA'.

Ogni corpo abbandonato a se stesso cade fino a che il suolo o qualsiasi altro ostacolo non lo trattenga. Questo si avvera in tutta la superficie del globo, tanto sul mare, quanto sulla terra ferma, nelle regioni elevate, siccome lo dimostra il cadere della pioggia e della grandine, del pari che nelle profondità de' pozzi o delle miniere. Un fatto così generale e frequente, ripetuto le mille volte

(1) Perocchè essendo simili i due triangoli ABC, BPR, sarà $BR : BP = AB : AC$, e però $BR \times AC = BP \times AB$.

innanzi agli occhi del volgo non che del filosofo, venne finalmente dopo tanti secoli ad offrirsi alla mente del Galilei. « Le scoperte » de' satelliti di Giove, dice il chiaro autore della Meccanica analitica (1), delle fasi di Venere, delle macchie del sole, procacciarono al Galilei durante la sua vita maggiore rinomanza, e pure esse non aveano mestieri di altro fuorchè di telescopî e di » applicazione perseverante, ma per isvolgere le leggi della natura di fenomeni che si aveano costantemente sotto gli occhi, e la » cui spiegazione era non pertanto sfuggita alle investigazioni dei » filosofi, richiedeva veramente un ingegno straordinario ».

La caduta de' corpi domanda una cagione o vogliam dire una forza, alla quale diamo il nome di *gravità*. La gravità dunque è quella forza che fa cadere i corpi. Cotesta definizione per altro è troppo angusta per rispetto alla varietà de' fenomeni che dalla gravità derivano, ma sufficiente a darci una nozione precisa della medesima come una forza, le cui leggi vogliamo investigare. Pare prima di ogn' altro che parecchi corpi sian fuori l'imperio della gravità, perocchè vediamo molti corpi tenersi sospesi sull'acqua, le nubi starsene librate nell'aria, la fiamma ed il fumo dirigersi in alto ecc., ma tra poco vedremo questi fenomeni derivare anch' essi dalla gravità, e non rappresentare punto un' eccezione alla universalità della medesima.

Se oltre la materia ponderabile ci siano in natura de' corpi imponderabili, a suo tempo verremo dichiarando.

Quale è la direzione secondo la quale opera la gravità? Sospendete un corpo all'estremo di un filo raccomandando l'altro estremo ad un punto fisso, e la direzione di questo, quando è in quiete, dinoterà la direzione secondo la quale opera la gravità: questo dicesi filo a piombo, e la sua direzione *verticale*. Ma cotesta direzione della gravità espressa dal filo a piombo rimane essa costante o varia col tempo? Noi dimostreremo a suo tempo che la direzione della gravità deve essere perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti, or se questa direzione variasse dovrebbe avvenire eziandio un cangiamento di livello nelle acque de' mari il che non avverandosi, si può conchiudere che il filo a piombo non cangia direzione.

Se la direzione della gravità è perpendicolare alla superficie delle acque stagnanti, noi la diremo perpendicolare all' orizzonte ossia alla superficie della terra, non considerando le irregolarità della medesima, ma immaginando la superficie de'mari distesa uniformemente in guisa da togliere tutte le irregolarità che la ter-

(1) Lagrangia mec. analit. t. I.

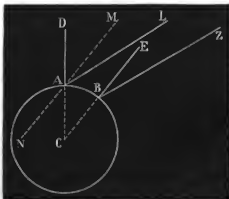
ra ferma può presentare. Ciò posto se questa superficie terrestre fosse tutta in un piano, tutte le verticali dovrebbero essere parallele, ma essendo la terra presso a poco un globo, le verticali essendo dirette secondo i raggi, dovranno convergere verso il centro della terra che l'Alighieri disse

. . . . il punto
Al qual si traggon d'ogni parte i pesi.

Ma se noi ci faremo ad osservare le direzioni di due fili a piombo messi a piccola distanza, scorgeremo due linee parallele, perocchè queste prolungate andrebbero a formare verso il centro della terra un angolo piccolissimo; per rendere la loro convergenza sensibile, converrà prendere due punti molto lontani, ma allora pare impossibile poter rendere aperta a' nostri sensi siffatta convergenza; e pure per mezzo della osservazione degli astri si può venire a capo di siffatta dimostrazione, la quale sola basterebbe a provare la rotondità della terra.

Supponete due astronomi i quali sian collocati in due stazioni *A* e *B* molto lontane sotto uno stesso meridiano, (*fig.* 17.) e supponete che guardino un medesimo astro nel momento che passa per cotesto meridiano, e siano *AL*, *BZ* le due visuali, che per la enorme distanza dell'astro possono tenersi come parallele. Ciascuno de' due osservatori supponete che misuri l'angolo che la visuale fa con la verticale del luogo in cui si trova, vale a dire supponete misurati i due angoli *DAL*, *EBZ*; è chiaro che essendo *AL* e *BZ* parallele, se *DA* ed *EB* fossero eziandio parallele, gli angoli *DAL*, *EBZ* sarebbero eguali, ma tali angoli si trovano di fatto dissuguali, dunque le verticali *DA* ed *EB* non sono parallele, e menando per *A* la *NM* parallela a *CE*, l'angolo *DAM* rappresenterà la differenza dei due angoli anzidetti, ma questo come esteriore è eguale all'angolo *C* interiore ed opposto, si può dunque conoscere l'angolo che le due verticali vanno a formare

FIG. 17.



nel loro incontro e quindi l' arco *AB* ovvero la distanza geografica de' due osservatori.

Facendoci ora ad investigare le leggi della gravità osserviamo, che sebbene nell' aria i corpi di varia densità cadano con velocità diverse, come sarebbero per esempio un pezzettino di carta ed un altro di piombo, pure cosiffatta differenza sparisce nel vuoto, e si osserva invece che tutt' i corpi quivi cadono con pari velocità. Lucrezio lo avea fin da' suoi tempi sospettato, il Galilei il primo dimostrava come la diversa velocità nell' aria fosse l'effetto della resistenza di questa e della perdita di peso, che come vedremo, i corpi soffrir debbono nella medesima; ma inventata finalmente la macchina pneumatica si potè far cadere i corpi nel vuoto e dimostrare col fatto quello che già il ragionamento avea additato.

Si prende dunque una grossa canna di cristallo chiusa al di sopra con un congegno metallico che sostiene vari corpi come metallo, carta ec., si vuota d' aria per mezzo della macchina pneumatica, che a suo luogo descriveremo, indi si fanno nello stesso tempo cadere que' corpi ch' eran trattenuti al sommo della canna, e si vedranno venire giù con la stessa velocità. Il pendolo ci offrirà un'altra pruova della medesima verità. Prevost di Ginevra finalmente ha indicato un mezzo molto semplice di fare la stessa esperienza senza bisogno della macchina pneumatica. Prendete una moneta, e tenendola orizzontale con le dita, ponetevi sopra un pezzettino di carta che non oltrepassi l' orlo della moneta: fate che questa cada tenendosi nella giacitura orizzontale, e vedrete la carta seguirla in modo che giungerà a terra insieme con la moneta.

La gravità dunque è tal forza che impartisce velocità eguali a masse dissuguali; ma quando le velocità sono eguali le forze motrici sono come le masse, *la gravità* dunque *opera in ragione delle masse;* e questa è la prima legge della gravità.

La seconda legge si enuncia dicendo, che dalla superficie in sopra, la gravità opera in ragione inversa de' quadrati delle distanze computate dal centro della terra.

Tra la superficie ed il centro finalmente, la gravità è in ragione delle semplici distanze dal centro.

Per effetto della seconda legge dunque segue, che un corpo il quale, venisse elevato ad un'altezza pari ad un raggio terrestre, cioè lungi dal centro per due raggi, peserebbe la quarta parte di quello che pesava alla superficie. Ed un corpo che fosse portato ad un'altezza pari a quella della luna, vale a dire alla distanza dal centro della terra di 60 semidiametri, dovrebbe pesare $\frac{1}{3600}$ di quello che

pesava alla superficie, talchè se fosse stato un corpo di 3600 libbre, si troverebbe col peso di una libbra sola.

Per effetto della terza legge poi ne viene, che un corpo che scendesse per una metà del raggio sotto la superficie della terra, peserebbe anche per metà di quello che pesava alla superficie, e se giungesse al centro non avrebbe più peso. Per la qual cosa la gravità esercita il massimo di sua efficacia alla superficie della terra.

Dovremmo molto allargarci in parole per dare la dimostrazione di queste due ultime leggi, per cui ci siamo contentati di enunciarle soltanto.

LEZIONE VII.

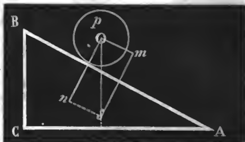
CADUTA DE' GRAVI PER LA LIBERA VERTICALE.

Operando la gravita con la legge della ragione inversa de' quadrati delle distanze ne segue, che un grave cadendo da grande altezza verrebbe giù guidato da una forza continua crescente, e però dovrebbe venire con moto accelerato, ma non uniformemente accelerato (1). Se non che essendo le altezze dalle quali noi possiamo far cadere i corpi quantità piccolissime per rispetto al raggio terrestre, si può considerare come nulla la differenza dell'azione della gravità tra il punto più elevato ed il più basso della verticale per cui il corpo cade, e però può la gravità per tutta l'altezza considerarsi come costante, ed allora ne segue che il grave dovrebbe cadere con moto uniformemente accelerato, fatta astrazione dalla resistenza dell'aria. Ma volendo vedere se l'esperienza conferma questa deduzione non si potrebbe far ricorso alla libera caduta de' corpi per la verticale, perocchè la molta velocità del grave darebbe troppo poco tempo all'osservazione, e d'altronde la resistenza dell'aria crescente in proporzione del quadrato della velocità perturberebbe la legge del moto uniformemente accelerato. Per la qual cosa il Galilei vide la necessità di avere la caduta con minore velocità, da cui risulterebbe la possibilità di avere con poca altezza una sufficiente durata nel moto, e nel tempo stesso una resistenza piccolis-

(1) Se cadesse la luna, per esempio, essa dovrebbe nella prima unità di tempo percorrere uno spazio pari ad $\frac{1}{3600}$ di quello che un grave nello stesso tempo percorrerebbe in vicinanza della terra.

sima. Egli dunque cercò di studiare la caduta del corpo per un piano inclinato. E per fermo, immaginiamo un corpo *P* (*fig*. 18) collocato sul piano inclinato *AB*; esprimendo con *OS* la direzione e la intensità della gravità, è chiaro potersi questa risolvere in due, in *On* cioè perpendicolare al piano ed *Om* parallela al medesimo: la prima resterà distrutta dalla resistenza del piano e la seconda obbligherà il corpo a scendere lungo il piano medesimo. Il corpo dunque invece di essere spinto da una forza pari ad *OS* con la quale andrebbe per la verticale, scorrerà sul piano con una forza pari a *Om*, la quale essendo minore di *OS* ne segue, che la velocità della caduta per lo piano inclinato sarà proporzionalmente minore di quella che il corpo avrebbe per la libera verticale. E propriamente starà *OS*: *Om* :: *AB*: *BC* ossia la gravità assoluta alla gravità relativa come la lunghezza del piano alla sua altezza, di modo che se il piano *AB* fosse lungo 60 palmi e l'altezza *BC* fosse di un palmo, il corpo per lo piano inclinato scenderebbe con una velocità pari alla sessantesima parte di quella onde sarebbe caduto per la libera verticale (1). Ottenuto lo scopo di avere una velocità di caduta diminuita a nostro talento vediamo come si trova che il corpo è sotto l'impeto di una forza continua costante, ossia che procede con moto uniformemente accelerato. Supponete che dopo parecchie prove vi foste assicurati che il corpo per lo piano inclinato sul quale si fa l'esperienza abbia nel primo minuto secondo percorso uno spazio di 3 pollici, allora sarà facile vedere se dopo 2" lo spazio sia quadruplo cioè di 12 pollici, se dopo 3" lo spazio sia nonuplo cioè di 27 pollici cc. Or trovandosi appunto gli spazî come i quadrati de' tempi si può conchiudere che il moto sia uniformemente accelerato.

FIG. 18.



Giorgio Atwood nel secolo passato immaginò un altro congegno col quale da quel tempo suolsi nelle scuole dimostrare che il moto de' gravi sia uniformente accelerato. Questo congegno è conosciuto

(1) Chiamando g la gravità assoluta e g' la gravità relativa, ossia quella parte che rimane operosa, si avrà $g : g' = AB : BC$, o pure $g : g' = 1 : sen.\ A$.

col nome di macchina di Atwood. Supponete una girella *a* nobilissima (*fig.* 19) sulla cui scanalatura passi un filo di seta a' cui estremi pendano due masse eguali *m* ed *m*, è chiaro che le medesime saranno in equilibrio tanto se siano al medesimo livello quanto se una si trovi più bassa dell'altra, essendo il peso del filo piccolissimo e sempre meno della resistenza di attrito della girella, quantunque ridotta al minimo possibile. Or supponete che sopra una di queste due masse eguali si aggiunga un peso di più, allora si passerà dall'equilibrio al moto, quella delle masse *m* cui si è aggiunto il nuovo peso scenderà, ascendendo l'altra, per cui la caduta della prima, per lo contrappeso della seconda, avverrà con velocità minore di quella che si avrebbe nella libera caduta (1). Se dunque fate discendere la massa sopraccaricata in modo che percorra le divisioni di un' asta che le stia di dietro, e contemporaneamente un pendolo batta i secondi, voi potrete nel modo che abbiamo detto dianzi, misurare gli spazi e paragonarli a' tempi per vedere come quelli siano nella ragione dei quadrati di questi.

FIG. 19.



Nella macchina intera che nella fig. 20 vedete delineata, l'asse della girella *a* è appoggiato sulle circonferenze di quattro altre girelle o ruote, le quali muovendosi col rotare dell'asse della girella *a* oppongono meno attrito. Osservate inoltre il pendolo che batte i secondi o i mezzi secondi per misurare i tempi a' quali gli spazî debbono esser comparati. Il Ramsden ordinò la macchina in guisa che con una mossa di mano, mercè un grilletto, si avviino contemporaneamente il pendolo e le masse. Si può anche fare in modo che la massa *m* discendente cioè caricata dal peso aggiunto lasci questo sopra di un anello collocato sull'asta divisa attraverso del quale la massa *m* passa dopo un determinato tempo, allora si vedrà la massa *m* sola, per virtù della velocità acquistata, percorrere in altrettanto tempo uno spazio doppio, il che dimostra che nel primo tempo il

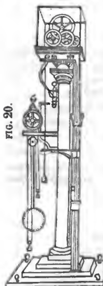


FIG. 20.

(1) Supponete che ad una delle masse *m* se ne aggiunga un altra *n*, e chiamiamo

grave scendeva con moto uniformemente accelerato e che cessata la forza acceleratrice rappresentata dal peso aggiunto, si è dovuto percorrere con moto uniforme uno spazio doppio.

Se dunque la gravità terrestre dentro certi limiti si può considerare come una forza acceleratrice costante, e se d'altronde la velocità è la stessa nel vuoto per tutt'i corpi, ne segue che la intensità di questa forza si misura dalla velocità ch'essa imprime al grave cadente nel vuoto nel primo minuto secondo di tempo; questa velocità con grossolana approssimazione si potrebbe dedurre da quella che si ha nella macchina di Atwood (1); ma tra poco il pendolo ci darà con molta precisione siffatta velocità la quale a Parigi fu trovata da Borda eguale a $9^m,8088$ che corrisponde a poco più di 30 piedi di Francia (2); di modo che lo spazio che un grave cadente percorre in 1'' nel vuoto in vicinanza della terra sarebbe di 4^m, 9044 ovvero circa 15 piedi. Se dunque prenderete un corpo di molta densità, come p.e. una palla di piompo, e lo farete cadere da una data altezza, misurando il tempo che spende nel cadere, voi potrete venire in cognizione dell'altezza percorsa. E per fermo supponete che la durata della caduta fosse di 3'', lo spazio sarebbe di $9 \times 4,9044$ metr. Un'esperienza di questo genere basterà di per se sola a dimostrare con sufficiente approssimazione il moto de' gravi essere uniformemente accelerato. Come dato il tempo potete sapere lo spazio, così dato lo spazio si potrebbe sapere il tempo, essendo i tempi come le radici quadrate degli spazî.

Quando è nota la velocità che il grave cadente per la verticale acquista nella prima unità di tempo, potrassi facilmente trovare quella che avrà dopo un tempo qualunque, moltiplicando quella velocità primitiva pel tempo, essendo nel moto uniformemente accelerato le velocità come i tempi. Ma talvolta ci occorre di sapere quale velocità acquisterebbe un corpo scendendo da un'altezza data,

g la velocità che questa acquisterebbe nel vuoto in 1'' di tempo, la sua quantità di moto sarà gn: diciamo poi x la velocità con la quale la massa $m+n$ discende e quindi quella onde l'altra opposta m sale, la quantità di moto sarà espressa da $(2m+n)x$, e però si avrà

$$(2m+n)x = gn, \text{ e quindi}$$

$$x = \frac{gn}{2m+n}$$

Donde si vede che se più piccola è la massa n per rispetto all'altra $2m$ minore sarà la velocità della caduta nella macchina di Atwood relativamente a quella della libera verticale.

(1) V. *Poisson* — Traité de mecanique t. 2.

(2) Quasi 37 palmi napoletani, essendo il palmo pari a centimetri 26,455.

allora con le semplici nozioni algebriche si dimostra che siffatta velocità si ottiene estraendo la radice quadrata dal prodotto della doppia altezza per la velocità della prima unità di tempo (1). Supponete per esempio che un corpo cada da un'altezza di 60 piedi; la velocità del primo minuto secondo essendo di circa 30 piedi, siccome si è detto, la velocità alla fine della caduta sarà la radice quadrata di 120 moltiplicata per 30 ossia di 3600 ch'e 60, vale a dire che se la gravità abbandonasse il corpo dopo che questo abbia percorso 60 piedi, esso per la velocità acquistata percorrerebbe con moto uniforme 60 piedi a minuto secondo, nell'atto che per scendere dall' altezza de' primi 60 piedi ci ha dovuto spendere 2" (2). Or se questo corpo venisse spinto verticalmente in alto con la velocità acquistata alla fine della discesa, in altrettanto tempo cioè in 2' con moto uniformemente ritardato risalirebbe alla stessa altezza.

Per esser brevi non ci tratterremo a discorrere del moto de'gravi per piani inclinati, essendo come abbiam veduto uniformemente accelerato, con forza acceleratrice varia quando varia la inclinazione di essi piani all' orizzonte. Ma avendo dimostrato che la gravità assoluta sta alla relativa come la lunghezza del piano alla sua altezza, è agevole paragonare gli spazî, i tempi e le velocità del piano inclinato a quelli per la libera verticale. Il corpo finalmente si può far discendere per una curva qualunque, ed allora secondo la natura della curva si possono dimostrare diverse proposizioni che noi siamo costretti a lasciare; ma non possiamo far di meno di toccare brevemente della natura del moto de' gravi assoggettati contemporaneamente ad una forza istantanea o di projezione che non sia verticale, ed all' azione della gravità. Allora è chiaro, per le cose dette altrove, dover nascere un moto curvilineo, e la curva descritta dal grave projetto sarà la sua traiettoria.

Non potendo esporvi questo argomento nè in tutta la sua ampiezza, nè col linguaggio proprio, mi restringerò ad indicarvi solo qualche esempio da cui apparisce la genesi della trajettoria de' gravi proietti, la quale è una curva non ben definita, quantunque astra-

(1) Applicandosi alla caduta de' gravi la formola del moto uniformemente accelerato si avrà

$$v=gt$$
$$s=gt^2\,,$$

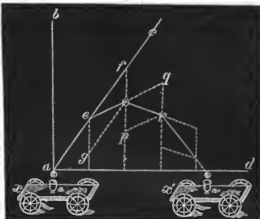
delle quali equazioni eliminando t si avrà

$$v=\sqrt{2sg}.$$

(2) Infatti essendo 15 lo spazio del primo minuto secondo dopo 2' lo spazio ha dovuto essere $4\times15=60$.

zion fatta dalla resistenza dell'aria, si dimostri da' meccanici dover essere una parabola.

FIG. 21.



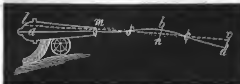
Immaginate un carretto *x* (*fig.* 21) il quale per un meccanismo a molla possa camminare solo per un certo tratto, quando la molla è caricata :..sopra questo carretto stia un piccolo bacino bucato nel fondo il quale contenga una palla di avorio *a* : al di sotto del carretto stia un' altra molla che scattando urti la pallina per lo foro del fondo del piccolo bacino nella direzione *a b*.

Supponete che mentre il carretto si muove la pallina sia spinta dallo scattar della molla, è chiaro dover la pallina ricevere due urti, l'uno di basso in alto secondo *ab* dalla molla, ed un altro secondo *ad* dall' orlo del bacinetto, e però la palla dovrà muoversi secondo la direzione della risultante *ac*, per la quale tenderebbe a procedere con moto uniforme percorrendo in tempi eguali gli spazî eguali *ae*, *ef* ec.; ma mentre la palla è sotto l'impulso di questa forza di proiezione deve trovarsi anche sotto l' imperio della gravità : supponendo dunque che dopo un primo tempuscolo si trovi in *e* pronta a percorrere *ef* in un secondo tempuscolo, e che la gravità la solleciti per la verticale con intensità *eg*, allora la palla verrà per *eo*, e continuerebbe nel tempuscolo seguente per *oq* se la gravità come forza continua non ripetesse il suo impulso *op*, onde la palla verrà per *or* e così continuando essa verrà a raggiungere il carretto che ha percorso una linea orizzontale, e ricadrà il più delle volte perfettamente nel bacino. Il che non solo vi fa vedere la forza di projezione e la gravità dar luogo ad una curva, ma che il tempo che un corpo spenderebbe a percorrere una delle componenti è eguale a quello che spende a percorrere la risultante. Questo carretto è detto nelle scuole carretto di Steiz dal nome del suo inventore.

La curva che descrivono le bombe proiettate da' mortari e la stessa, se non che la forza proiettile è naturalmente inclinata all'orizzonte per la direzione del mortaio il quale darà la parabola di massima ampiezza quando sia inclinato all'orizzonte per 45° (1).

Qualunque proiettile dunque spinto orizzontalmente o per qualsiasi direzione inclinata all'orizzonte descriver deve una curva. Ma nel cannone, nell'archibuso, la linea di mira è una retta, come dunque si potrà colpire lo scopo? Tutto questo si consegue facendo la linea di mira inclinata all'asse della canna secondo del quale opera la forza di projezione. E per fermo volgendo uno sguardo alla figura 22 vedrete come essendo la retta punteggiata *lmv* la linea di mira ed *asbcd* la traiettoria, ci siano due punti d'intersezione *s* e c, e però uno scopo che stia nell'uno o nell'altro punto sarà perfettamente colpito: tra *s* e c il proiettile colpirà alquanto sopra del punto di mira come in *b* in vece di *n*, e di là del punto c il proiettile colpirà di sotto al punto di mira come in *d* in vece di *v*. La carica diversa rendendo la curva più o meno depressa farà variare la distanza de' punti *s* e c dall'arma.

FIG. 22.



Le curve che descrivono i zampilli o le vene fluide uscenti dai fori fatti nelle pareti de' vasi sono della stessa natura e procedono dalle medesime cagioni.

Può un grave percorrere una curva facendolo cadere per una scanalatura che la rappresenti, allora considerando questa come composta di piani diversamente inclinati all'orizzonte, si vede come la forza che spinge il corpo nella caduta debba esser continua decrescente onde se l'arco non sia piccolissimo il moto sarà accelerato, ma meno dell'uniformemente accelerato. Ciò non pertanto se dalla stessa altezza scendano due corpi uno per un piano inclinato e l'altro per un arco di cerchio arriverà a basso prima quest'ultimo, perchè la forza dal principio della caduta sarà più grande per l'arco di cerchio che per lo piano inclinato che ne rappresenta la corda, perchè l'arco è più prossimo alla verticale. Per cui se vi sia anche un arco di cicloide, perchè questo si accosta anche più alla verticale, la velocità di caduta per esso sarà

(1) Si dimostra in balistica, essere l'ampiezza della parabola come il seno del doppio angolo di elevazione, e però il tiro massimo deve corrispondere all'angolo di 45° perchè il seno massimo corrisponde a 90°.

massima (1), e però la cicloide fu detta curva *brachistocrona*. E perchè in questa si avvera che la velocità è maggiore se l' arco è maggiore perchè viene più vicino alla verticale, anzi si dimostra che le velocità sono come gli archi, così ne deriva l' altra singolare proprietà che o il corpo cada per tutto un arco cicloidale o dalla sua terza parte ec. il tempo della caduta sarà sempre lo stesso, onde la cicloide fu anche detta *tautocrona*.

LEZIONE VIII.

DEL CENTRO DI GRAVITA'.

Un grave cadente si può considerare come un sistema di forze eguali e parallele, operando la gravità egualmente su tutte le sue molecole, ma un sistema di forze uguali e parallele deve avere un punto per lo quale sempre passa la risultante sia quale si voglia la direzione di esse forze purchè restino parallele, siffatto punto che in generale si è chiamato centro delle forze parallele, in questo caso *centro di gravità* si addimanda. Ogni corpo dunque aver deve il suo centro di gravità, il quale non potrà mai variare nel medesimo finchè le molecole restano nello stesso modo ordinate.

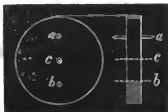
La risultante di tutte le azioni che la gravità esercita sul corpo è ciò che dicesi il peso del medesimo, e questo peso è proporzionale alla massa del corpo se la gravità rimane la stessa, ed è proporzionale alla intensità della gravità quando la massa è la stessa.

Ora per impedire la caduta di un corpo è chiaro che bisogna opporgli una forza almeno eguale al suo peso, e diretta secondo la verticale del centro di gravità del medesimo, la quale dicesi *linea di direzione*. Il che si può in tre modi conseguire, o applicando questa forza precisamente nel centro di gravità del corpo, o verticalmente di sopra o verticalmente di sotto; nel primo caso si ha l'*equilibrio indifferente*, l'*equilibrio stabile* nel secondo, ed in ultimo l'*equilibrio instabile*.

(1) Immaginate un cerchio che si muova con moto di rotazione intorno al suo centro ed in pari tempo si trasferisca sopra di una retta a guisa di una ruota di carrozza: fissate un punto nella circonferenza di questo cerchio ed accompagnatelo nello spazio da che tocca la retta una prima volta fino a che vi ritorni sopra, e la curva descritta da questo punto dicesi cicloide, la quale avrà la base eguale alla circonferenza del cerchio generatore.

Immaginate un disco (fig. 23) perfettamente omogeneo sostenuto da un asse che passi pel suo centro di gravità c, che in questo caso coincide col centro di figura, ed intenderete che comunque lo farete rotare esso resterà sempre in quiete ; ma se l' asse passi per a al di sopra di c, allora il disco starà in equilibrio quando il punto a ed il centro c di gravità stiano nella stessa verticale; in qualunque altra giacitura il disco venga lasciato, girerà fino a che dopo alcune vibrazioni non si sia il centro di gravità collocato verticalmente di sotto del punto a. Può finalmente aversi l'equilibrio instabile quando l'asse b si trovi verticalmente di sotto del centro di gravità c, ed allora per poco che girate il disco da far che il punto c esca fuori della verticale anzidetta, il disco roterà fino a che non siasi ridotto in equilibrio stabile.

FIG. 23.



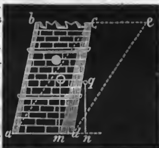
Il centro di gravità si trova ne' corpi omogenei e di figure regolari con metodi matematici. In qualche caso si può anche trovarlo in modo sperimentale. Così per esempio se sospendete un corpo ad un filo è chiaro che il centro di gravità del corpo dovrà trovarsi nella linea ch' è il prolungamento del filo entro del corpo: se dunque lo sospendete nuovamente per un altro punto, il centro di gravità dovrà trovarsi eziandio in un punto del prolungamento del filo, starà perciò nella intersezione de' due prolungamenti.

Si trova il centro di gravità delle figure piane e delle superficie curve supponendole come composte di punti materiali. Quindi il centro di gravità della linea retta sta nella sua metà, quello del triangolo nella intersezione di due rette menate da ciascuno di due de' suoi angoli alla metà del lato sottoposto, ovvero in una di queste rette per due terzi di sotto del vertice. Il centro di gravità del cerchio e della sfera si trova nel centro di queste figure, quello del cilindro nella metà dell'asse, quello del cono trovasi nell'asse per $\frac{3}{4}$ di sotto del vertice, quello del parallelogrammo nella intersezione delle due diagonali ec.

Il centro comune di gravità di due masse insieme unite poi si trova dividendo la retta che congiunge i loro parziali centri di gravità in ragion reciproca delle masse: per cui se una delle masse sia molto più grande dell' altra il comune centro di gravità corrisponde nella massa maggiore. Per la qual cosa se aveste un globo metà di legno e metà di piombo il centro di gravità starebbe molto vicino a quello dell' emisferio di piombo.

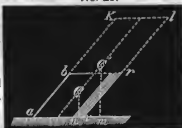
Ciò premesso, un corpo che sia in equilibrio stabile può solo temporaneamente esser rimosso dalla sua giacitura, ma dopo alcune vibrazioni vi ritorna. Il corpo poi che stia in equilibrio instabile è soggetto a perdere per sempre la primitiva giacitura se venga convenientemente perturbato, e propriamente fino a tanto che la linea di direzione cade nel perimetro della base il corpo riprende la primiera giacitura sebbene ne fosse stato rimosso, ma se la linea di direzione arriva ad uscire fuori del perimetro della base, allora il corpo cadrà. Immaginate dunque una torre *abcd* inclinata all'orizzonte come il campanile di Pisa. Se il centro di gravità sia in *O*, (*fig.* 24) perchè la linea di direzione *Om* cade nel perimetro della base, la torre starà ferma, ma se questa fosse inclinata di più come *aced*, in modo che il centro di gravità si trovasse in *q* allora la linea di direzione *qn* uscendo fuori della base, la torre cadrebbe.

FIG. 24.



Senza dare all'edifizio una maggiore inclinazione esso potrebbe cadere solo per maggiore altezza. Così se considerate il cilindro inclinato *abrv* (*fig.* 25), vedrete che esso starà fermo perchè la linea di direzione *Cn* cade nella base, ma se questo cilindro si prolungasse in modo da divenire *aklv*, allora il centro di gravità si troverebbe in *C'*, e quindi il cilindro cadrebbe perchè la linea di direzione *C'm* uscirebbe fuori del perimetro della base. Quindi s' intende che un corpo starà più fermo se la base sia più ampia, o se il centro di gravità stia più basso, e però il cono starà più fermo del cilindro avendo entrambi eguali le basi e le altezze. Que' corpi che hanno la base molto pesante si veggono avere maggiore stabilità perchè il centro di gravità si accosta alla massa maggiore. Dalle cose dette apparisce che spingendo un corpo per farlo rovesciare esso tende a riprendere la sua primiera situazione ossia tende a ricadere sulla base fino a che la spinta non abbia menata la linea di direzione fuori del perimetro della base medesima; il corpo dunque resiste alla spinta con un momento di rotazione che si può ben determinare conoscendo il centro di gra-

FIG. 25.



vità ed il peso del corpo. La spinta dal canto suo opera anch' essa con un momento di rotazione facile a determinare se conoscesi il punto di applicazione della forza.

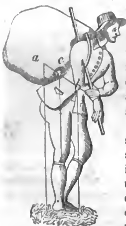
Il centro di gravità del corpo umano si trova equilibrandolo orizzontalmente sopra una tavola sostenuta dal vertice di un prisma. Questo centro corrisponde verso l' umbilico. Quindi l' uomo si terrà in piedi se la linea di direzione *CP* cada tra le piante (fig. 26). Atteggiando diversamente le braccia la figura del corpo cangia e quindi il luogo del centro di gravità: e però che coloro che abbiano una conformazione più o meno irregolare aver debbono il centro di gravità in punti diversi: un uomo molto panciuto lo avrà alquanto innanzi, e però s' inclina alquanto indietro: il vecchio curvo ha bisogno del bastone ec.

FIG. 26.



Se si porti sulle spalle un fardello allora si avrà un centro comune di gravità del corpo e del fardello, il quale si troverà con la regola data più sopra, onde la linea di direzione di questo centro comune di gravità *C* (fig. 27) dovendo cadere entro le piante, sorge la necessità di curvarsi in avanti. Quando si camina, alzando un piede la linea di direzione cader deve nella pianta dell' altro che rimane a terra, talchè camminando in piano si avvera che il piè fermo è sempre il più basso, che abbia voluto dir Dante con queste espressioni.

FIG. 27.

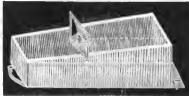


Da ciò segue che il corpo debba menarsi alquanto a destra alzando il piede sinistro, ed a sinistra alzando il destro, onde i soldati che camminano stretti in riga si urterebbero senza portare il *passo*. Ponendo mente al centro di gravità nell'atto del camminare si vede ch' esso è alternativamente elevato ed abbassato, e queste elevazioni e questi abbassamenti sono maggiori e richiedono più sforzo se i passi sono più lunghi, e però il facchino che porta pesante fardello sul capo cammina a piccoli passi, e strascinando i piedi sul suolo.

Il centro di gravità tende sempre ad occupare il punto più basso, per cui una sfera che fosse metà di legno e metà di piombo

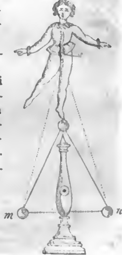
poggiata sopra un piano roterà fino a che il piombo non si trovi sotto, ed il centro di gravità alla minima distanza dal piano. Interviene perciò che alcuni fantocci da servire di trastullo a' bambini si veggono rizzarsi spontaneamente quante volte si abbassano perchè poggiano sopra un segmento sferico molto pesante. Si ha così un apparente elevarsi del corpo con una reale caduta del centro di gravità. La figura 28 rappresenta anche un caso di elevazione apparente. Il doppio cono A di legno molto pesante messo sopra due orli divergenti ancorchè alquanto inclinati cioè elevati verso il largo, si vedrà salire perchè poggiando da prima con le basi sullo stretto, il centro di gravità si trova elevato, poi come vien poggiando con le parti che si accostano a' vertici, il centro di gravità si trova successivamente più basso.

FIG. 28.



Osservate finalmente (*fig.* 29) una figura di legno fissata con un piede sopra un globo dal quale partono due fili metallici terminati da due globi pesanti: questa figura si terrà bilicata sulla punta sottoposta ancorchè venga rimossa dalla sua giacitura di quiete: essa tentenna e non cade perchè quando ponete mente al centro di gravità del sistema troverete esservi le condizioni dell'equilibrio stabile.

FIG. 29.



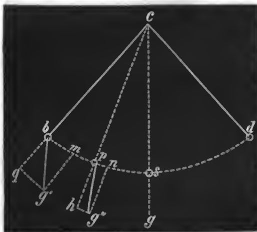
LEZIONE IX.

DEL PENDOLO COME STRUMENTO ACCONCIO ALLA MISURA DELLA GRAVITA'.

Immaginate un corpicciuolo legato all'estremo di un filo flessibile, ed avrete l'idea più semplice del pendolo. Questo, quando è in quiete, rappresenta il filo a piombo o la direzione della gravità, ma

se venga rimosso dalla verticale ed abbandonato a se stesso senza dargli alcuna spinta, si vedrà compiere una serie di vibrazioni o *oscillazioni* quasi in un medesimo piano. La causa di siffatte vibrazioni si trova evidentemente nella gravità la quale farà discendere il corpo con moto accelerato fino alla verticale, e poi per la velocità acquistata, lo farà risalire con moto ritardato per un arco eguale a quello della discesa, per ricominciare di nuovo a discendere e così continuare sempre, se la resistenza dell'aria e l'attrito del punto di sospensione non venissero man mano scemando l'ampiezza delle vibrazioni. Volgendo uno sguardo alla figura 30 intenderete agevolmente come per opera della gravità debba tutto questo intervenire. E per fermo, supponete il filo recato dalla verticale *cs* nella giacitura *cb*: il corpo *b* se fosse libero dovrebbe cadere secondo la verticale *bg'*, or esprimendo con questa retta la intensità della gravità, risolviamola in due *bq* e *bm*, *bq* operando contro del filo lo stirerà generando forza centrifuga, e la *bm*, o meglio la tangente di quest'arco, obbligherà il corpo a discendere. Se questa stessa risoluzione la farete in *p* troverete *pn* minore di *bm*, e *ph* maggiore di *bq*, e quindi vedrete che la forza che spinge il pendolo per la semivibrazione discendente va scemando e però il moto non può essere uniformemente accelerato. Alla verticale questa forza è nulla e tutta la gravità opera contro del filo, ma è chiaro che il corpo giunto in *s* possiede tale velocità da poter salire in *d* con moto ritardato, per ricominciare così una nuova vibrazione. Le principali leggi delle vibrazioni de' pendoli possonsi ridurre alle tre che seguono.

FIG. 30.



1.° *Le vibrazioni fatte per archi piccoli sono isocrone, ossia di eguale durata, ancorchè questi archi siano dissuguali.* Ecco la legge scoperta dal Galilei ancor giovane, mentre osservava il ciondo-

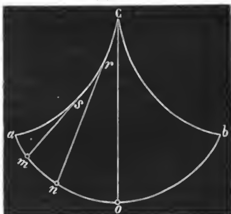
lo d'una lampada nel duomo di Pisa. Essa può verificarsi agevolmente misurando in uno stesso pendolo la durata delle prime vibrazioni che abbiano p. e. l'ampiezza di due gradi, e poi la durata delle medesime ridotte all'ampiezza di un grado ec. e si vedrà serbare l'isocronismo.

2.° *La durata delle vibrazioni non dipende nè dal peso nè dalla natura del corpo oscillante.*

3.° *Le durate delle vibrazioni sono tra loro come le radici quadrate della lunghezza de' pendoli.* Di modo che per avere de' pendoli le cui vibrazioni abbiano le durate come 1, 2, 3 ec. conviene che le loro lunghezze siano come 1, 4, 9 ec.; così essendo dato un pendolo che batte i minuti secondi, volendosene un altro in cui ogni vibrazione durasse 2'', bisognerebbe che fosse quadruplo di lunghezza.

Per intendere la ragione della prima legge bisogna ricordarsi delle proprietà della cicloide di cui altrove facemmo parola, ed allora s'intenderà che un pendolo il quale invece di descrivere archi circolari descrivesse archi cicloidali darebbe oscillazioni isocrone, sia quale si voglia l'ampiezza degli archi. Ma come si farebbe a far descrivere al pendolo archi cicloidali? Supponete due semicicloidi *ca* e *cb* collocate sul medesimo piano e sporgenti fuori del medesimo a guisa di due lamine (*fig.*31), supponete inoltre un pendolo *co* che penda in mezzo ad esse lungo quanto una di queste: fate che il filo sia messo a combaciare con *ca* e poi si spieghi man mano; questo filo che dopo di aver lasciata la curva *ca* si piega sull'altra *cb* descrive col suo estremo un'altra curva *aob* ch'è pure una cicloide, siccome da' matematici si dimostra (1). Ora è chiaro che un pendolo che fosse obbligato a

FIG. 31.



(1) La *ca* si direbbe *evolvente* e la *ao evoluta*: le varie linee *sm*, *rn* ec. sarebbero i raggi d'osculo, ed i cerchi descritti con essi osculatori della curva *ao* si addimandano.

ciondolare tra due mezze cicloidi nel modo dalla figura dinotato, descrivendo archi cicloidali dovrebbe dare vibrazioni isocrone, sia quale si voglia l'ampiezza delle medesime. Ma descrivendo un cerchio col centro c e col raggio co, si vede che un arco molto piccolo di questo si confonde con l'arco della cicloide di cui il cerchio è osculatore, onde segue che le vibrazioni fatte per archi circolari molto piccoli si possono considerare come fatte per archi cicloidali, e però debbono essere isocrone.

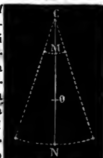
La ragione della seconda legge trovasi nella natura della gravità la quale operando in ragione delle masse deve impartire a masse dissuguali velocità uguali. Anzi provando con l'esperienza che le durate delle vibrazioni non dipendono dalla natura o dal peso del corpo vibrante, si può conchiudere che la gravità operi in ragione delle masse. E la eguale velocità di caduta si dimostra col pendolo meglio che con le canne vuote d'aria, le quali danno troppo poca durata all'esperienza, in modo che se vi fosse una piccola differenza non si potrebbe osservare. Questa legge inoltre ci dà diritto a conchiudere che insieme alla materia ponderabile non ci ha materia imponderabile; imperciocchè se questa materia imponderabile si trovasse variamente distribuita ne' corpi, le vibrazioni dovrebbero riuscire più lente con quei corpi che ne conterrebbero in maggior copia, e dovrebbero variare variando la massa di una stessa materia.

La terza legge finalmente si rende aperta considerando, che quando gli archi sono piccoli il moto delle semivibrazioni discendenti può tenersi come uniformemente accelerato, e quello delle semivibrazioni ascendenti come uniformemente ritardato, e però le durate debbono essere come le radici quadrate degli spazî, ossia degli archi, ma gli archi simili sono come i raggi dunqne le durate delle vibrazioni sono come le radici quadrate de' raggi che sono le lunghezze de' pendoli. Quando le vibrazioni si compiono per archi piccoli la legge riman vera ancorchè gli archi non siano simili.

Tutto quello che abbiamo detto si applica veramente al pendolo semplice, facile ad immaginare, impossibile ad eseguire, imperocchè esso consisterebbe in un sol punto materiale pendente all' estremo di un filo senza peso. Ma quando considerate un corpo col filo o con un'asta, voi avete pendoli di tante lunghezze per quanti sono i punti messi a diversa distanza dal centro di sospensione, e però il sistema vibrante è un pendolo composto. Supponghiamo per maggiore semplicità che fossero due soli punti materiali pesan-

ti *M* ed *N* (*fig*. 32) collocati nella lunghezza del filo *CN* senza peso, è chiaro che il punto *M* tenderebbe a fare vibrazioni più celeri dell'altro *N*, onde il primo accelererà le vibrazioni del secondo, e questo ritarderà quelle del primo, per cui ne risulteranno vibrazioni di una durata intermedia quale le farebbe un pendolo semplice che fosse più lungo di *CM* e più corto di *CN*, di lunghezza supponiamo *CO*; ora il punto *O* determinato sulla lunghezza del pendolo è quello in cui si possono considerare come riuniti i due *M* ed *N*, e dicesi centro di oscillazione o di vibrazione del pendolo.

FIG. 32.



Quando dunque questo punto è ritrovato, il pendolo composto si può come pendolo semplice considerare, e la sua lunghezza sarà la distanza che passa tra il punto di sospensione ed il centro di vibrazione.

Dalle cose dette nasce una regola sperimentale per trovare il centro di vibrazione di un pendolo composto: proccurando d'imitare per quanto più si possa un pendolo semplice sospendendo ad un filo di bozzolo una pallina di platino, p. e. e cercando, coll'allungare ed accorciare questo pendolo, di avere vibrazioni della stessa durata di quelle del pendolo composto, la lunghezza di questo pendolo semplice ci farà trovare il centro di vibrazione del pendolo composto. La meccanica poi insegna un metodo di maggiore precisione, mercè il momento d'inerzia (1).

Huyghens applicò il pendolo all'orologio, e per avere l'isocronismo cercò di avere archi cicloidali nel modo di sopra indicato, ma poi per parecchie difficoltà di esecuzione si ricorse a' pendoli lunghi vibranti per archi circolari molto piccoli, tanto più che quando siano, come dicesi dagli orologiari, a *scappamento libero* gli

(1) I meccanici chiamano *momento* d'inerzia la somma de' prodotti di ciascun elemento della massa rotante per lo quadrato della rispettiva distanza dall'asse o dal centro di rotazione, ed insegnano che divisa questa somma per quella dei semplici momenti di rotazione di tutte le particelle onde il pendolo è composto, si ha il centro di vibrazione.

V. Il Gerbi *Corso elementare di Fisica*, Paciootti, *Meccanica Architettonica ed industriale* ec.

Il centro di vibrazione essendo il punto per lo quale passa la risultante di tutte le azioni che la gravità esercita sulla massa del pendolo per fargli compiere le sue vibrazioni, ne segue esser lo stesso del così detto centro di *percussione* o di *percossa*, ossia di quel punto con cui una massa rotante darebbe il massimo urto ad un ostacolo che le si opponesse.

archi si approsimano anche di più alla cicloide, siccome ha dimostrato Alessandro Cumming inventore di siffatto scappamento (1).

Quando il pendolo è applicato all'orologio esso vibra per le azioni riunite della gravità e della molla o qualsiasi altra forza che anima l'orologio, e però la durata delle vibrazioni non è più indipendente dal peso del pendolo, perocchè se la molla deve impartire il moto ad una massa maggiore lo farà con velocità minore. S'intende poi perchè gli orologi a pendolo si regolino, o come dicesi, si registrino facendo variare la lunghezza del pendolo, perchè sempre la durata delle vibrazioni serberà le sue attenenze con la lunghezza, nel modo che di sopra è detto.

Premesse tutte queste cose, non dureremo fatica ad intendere, che la durata delle vibrazioni del pendolo dipendendo da due cagioni, dalla intensità cioè dalla gravità e dalla lunghezza del pendolo, noi potremo con un pendolo che serbi sempre la stessa lunghezza accorgerci se la gravità soffra delle variazioni nello stesso luogo al variare de' tempi, o nello stesso tempo al variare dei luoghi, perocchè ogni cangiamento d'intensità in questa forza deve generare cangiamento di durata nelle vibrazioni del pendolo. I meccanici poi hanno scoperto le attenenze precise tra la durata delle vibrazioni, la lunghezza del pendolo e la intensità della gravità, in modo che date due di queste quantità si trova la terza: così essi vi dimostrano che se conoscete la lunghezza del pendolo e la durata delle vibrazioni del medesimo, la intensità della gravità si ottiene moltiplicando il quadrato del numero che rappresenta la ragione della circonferenza al diametro ch'è **3,1415926**, per la lunghezza del pendolo, e dividendo il prodotto per lo quadrato della durata di una vibrazione (2). Per tal modo Borda trovò la misura della gravità terrestre per Parigi eguale a 9m8088, ed in simil guisa si può misurarla in qualunque altra latitudine.

Operando in questo modo si ha la gravità misurata in modo assoluto, ma se si volesse semplicemente conoscere la ragion che passa tra la sua intensità in un luogo e quella di un altro luogo qualunque servendosi di un medesimo pendolo, basterà sapere che

(1) V. l'opera intitolata: *The elements of clock watch-work adapted to practice.*

(2) Dinotando con t la durata di ogni vibrazione, con π la ragione della circonferenza al diametro e con g il valore della gravità terrestre, la meccanica ci dà la seguente equazione

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad \text{donde si ricava} \quad g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$$

le due azioni saranno tra loro come i quadrati de' numeri delle vibrazioni fatte in tempi eguali (1).

Or dalle osservazioni fatte nelle diverse latitudini della terra si è conosciuto che la gravità è meno intensa verso l'equatore e cresce con le latitudini, ossia procedendo verso i poli. Richer par che fosse stato il primo ad avvedersi di questo fatto; essendo egli andato da Parigi all'isola di Cayenna a 5° di latitudine australe, notò che il pendolo che avea seco recato, il quale a Parigi era regolato col tempo medio, ritardava ogni giorno di 2',28". Posteriormente i capitani di marina inglese Hal,Sabine, Forster; i francesi Freycinet e Duperry, non che il Russo Leutke, hanno fatta una serie di osservazioni intorno al globo le quali poi sono state sottoposte a calcolo da Francesco Baily. Da questi calcoli risulta che la lunghezza del pendolo che batte i secondi di tempo medio all'equatore è di $0^m,991$, ed il valore della gravità di $9^m,78076$; il massimo poi di questa forza corrispondente a ciascun de' poli sarebbe di $9^m,83110$ (2).

Or venendo alla cagione onde deriva questo variare della intensità della gravità terrestre al variare delle latitudini diciamo, che una parte della variazione procede dalla forza centrifuga nascente dalla rotazione della terra, la quale forza è più grande e più direttamente opposta alla gravità per quanto più ci avviciniamo all'equatore, ed un'altra parte deriva dalla figura sferoidale della terra, figura che a sua posta sembra essere stata generata anche dalla forza centrifuga procedente dalla rotazione diurna del pianeta siccome fu altrove indicato.

(1) Dinotando con g e g' le intensità della gravità in due stazioni diverse avremo $g : g' = \frac{\pi^2 l}{t^2} : \frac{\pi^2 l'}{t'^2}$; e se il pendolo sia della stessa lunghezza, se sia cioè $l = l'$, si avrà $g : g' = \frac{1}{t^2} : \frac{1}{t'^2}$, ossia $g : g' = t'^2 : t^2$; ma dinotando con n ed n' i numeri di vibrazioni fatte in tempi eguali, è chiaro dover essere questi in ragion reciproca delle durate, e però si avrà $n^2 : n'^2 = t'^2 : t^2$ onde finalmente ne verrà $g : g' = n^2 : n'^2$.

(2) F. Baily. Memoirs of the astronomical society of London vol. VII an. 1834. Data la intensità della gravità all'equatore espressa da $9^m,78078$ e la lunghezza del pendolo che batte i secondi di tempo medio espressa $0^m,991$, e chiamando λ la latitudine si ha

$$g = 9^m,78078 + 0^m,050321 sen^2\lambda$$
$$l = 0^m,99100 + 0^m,0050986 sen^2\lambda$$

Sostituendo per esempio in vece di $sen^2\lambda$ il quadrato del seno della latitudine di questa città di Napoli la quale è di $40°,51'$, si avrà l'intensità della gravità e la lunghezza del pendolo a secondi per Napoli. V. Mossotti op. c.

La ragione d'altronde tra la lunghezza del pendolo a secondi all'equatore ed a' poli è stata bastante a far conoscere la differenza tra l'asse maggiore e l'asse minore della terra (1), la quale sarebbe compresa tra $\frac{1}{266}$ ed $\frac{1}{296}$

Ma cotesto schiacciamento della terra non solo si dimostra per mezzo del pendolo, ma eziandio in una maniera diretta. Supponete che la curva *PEE'* (*fig.*33) dinoti un meridiano e *PP* l'asse di rotazione della terra: se la terra fosse sferica questa curva dovrebbe essere un cerchio, e quindi un arco di un grado p.e. *EN* preso all'equatore dovrebbe avere la stessa lunghezza di un altro grado p. e. *PM* preso verso uno de'poli; ma se la terra è uno sferoide il meridiano dovrà essere una curva ellittica, approssimativamente simile a quella qui rappresentata. Ed allora perchè dell' arco *EN* il centro è *O'* e dell'altro *PM* il centro è *C'*, ne segue che il grado *EN* deve essere minore dell' altro *MP*. Or fatte queste misure sul meridiano terrestre si trova appunto che i gradi verso l'equatore sono più piccoli di quelli verso i poli; si è dunque conchiuso essere la terra uno sferoide, e per alcune considerazioni geometriche fondate sulle diverse lunghezze de' gradi del meridiano, si è trovata la differenza tra l'asse maggiore e l'asse minore della terra, ossia si è trovato il

FIG. 33.



Raggio dell'equatore	6376981ᵐ
Raggio polare	6356324
La differenza	20660

Come si possa determinare la distanza in gradi tra due stazioni sotto il medesimo meridiano, abbiamo altrove veduto: la effettiva distanza poi si determina con le misure geodetiche, e quindi si può conoscere la diversa lunghezza de' gradi del meridiano. Ecco perchè quando si volle col metro fissare una unità di misura atta a poter essere in ogni tempo verificata, non si pre-

(1) V. *Ghairaut*, Theorie de la figure de la terre tirée de l'Hydrostatique. *Laplace*, Mecanique céleste tom. II. Mossotti, Lezioni di Fisica matematica t. I.

se l' aliquota del grado, ma quella della quarta parte del meridiano.

Il pendolo finalmente non solo ci ha dato una prova della figura della terra, ma eziandio la dimostrazione del moto diurno della medesima: sospendete all'estremo di un lungo filo metallico una sfera pesante, facendo in modo che il capo superiore del filo sia saldato in un foro verticale fatto in una verga metallica fissata al sommo di una volta, e quando questo lungo pendolo è in quiete deviatelo dalla verticale legandolo con un filo di canapa, poi liberatelo ardendo il filo con la fiamma di una lampada e notate il piano primitivo delle vibrazioni; a poco a poco vedrete il piano rotare verso la vostra sinistra. Questa esperienza secondo ha dimostrato l'Antinori era stata fatta da gran tempo in Italia dagli accademici del Cimento e specialmente del Viviani, siccome si raccoglie da una nota manoscritta del medesimo che trovasi nella biblioteca del Granduca di Toscana. Il Foucault in quest'ultimi tempi, ignorando certamente la nota del Viviani e qualche espressione meno esplicita de' *saggi di naturali esperienze dell'accademia del Cimento*, non che di qualche altra opera italiana cui noi stessi italiani non avevamo posto mente, l'ha riprodotta e ne ha indicata la cagione. Egli nel primo annunzio che ne diede all' Istituto di Francia, dopo aver ricordata una memoria di Poisson del 1837 nella quale questo illustre matematico avea trovato col calcolo che nelle nostre latitudini i proiettili spinti verso un punto qualunque dell'orizzonte soffrono un deviamento verso la destra dell'osservatore collocato nel luogo onde parte il proiettile e con la faccia rivolta verso la traiettoria, soggiunge: « A me sembra che la massa del pendolo possa asso-
» migliarsi ad un pendolo che devia verso la destra quando parte
» dall'osservatore, e però necessariamente per verso contrario ri-
» tornando verso il punto d'onde partì, ciocchè deve generare un
» successivo spostamento nel piano medio di vibrazione, il quale
» ne indica il verso. Se non che il pendolo offre il vantaggio di ac-
» cumulare gli effetti e farli passare dalla regione delle teoriche in
» quella della osservazione. Molti han ripetuta questa esperienza anche in Italia come il P. Secchi della C. di G. nella chiesa di S. Ignazio in Roma, il P. Serpieri delle S. P. ec., ed in questo momento l'ho ripetuta anch'io col medesimo successo (1). Il filo di sospensione è di rame ben ricotto ed all'estremo di esso ho sospeso delle masse di ferro e di piombo successivamente di figura sferica o cilindrica una di 6k un altra di 6k ed anche una di mezzo chilogrammo. Pare che nel nostro clima la rotazione intera si compirebbe presso a

(1) 20 luglio 1851.

poco in 36 ore (1). Le vibrazioni sembran da prima fatte in un piano che soffre il suo spostamento, ma come si vanno rendendo meno ampie si vede chiaramente che il corpo descrive un' ellissi molto allungata.

Il pendolo dunque è uno strumento la cui mercè abbiam potuto misurare la intensità della gravità, abbiam potuto avere un argomento per conoscere la figura della terra e finalmente una prova della rotazione diurna della medesima. Cerchiamo dopo tutto questo se sia possibile spiare più a dentro la natura e l' indole della gravità, se non ci è dato penetrare nella sua essenza.

Isacco Newton dopo i lavori di Galilei, di Copernico, di Keplero e di parecchi altri, giunse a scoprire un fatto o vogliam dire una legge universalissima della natura di cui la gravità terrestre non è che un caso particolare, questa legge suprema ed universale consiste nell'attrazione scambievole che i corpi manifestano in ragione diretta delle masse ed inversa de'quadrati delle distanze, sia quale si voglia la natura di essi corpi. Quindi la forza centripeta che mantiene la luna nella sua orbita intorno alla terra, e quella che mantiene la terra nella sua orbita intorno al sole, del pari che gli altri corpi del sistema planetario, e per fino le perturbazioni de' pianeti son fatti che si comprendono sotto il medesimo principio. Per la qual cosa la caduta de' corpi sublunari non è, come di sopra diceva, se non un caso particolare di questa legge cosmica della materia detta *attrazione* o gravitazione universale. Noi dovremmo osservarla tra i corpi che sono alla superficie della terra, se la forza con cui l'intera massa del globo chiama a se i corpi per la verticale non fosse infinita per rispetto a quella onde si attraggono tra loro. Pure sebbene le più alte montagne non siano che piccolissime masse per rispetto a quella dell'intero pianeta che abitiamo, sono non di meno bastanti a dimostrarci l'attrazione che esercitano sopra i corpi, deviando verso di loro il filo a piombo. Il Newton lo avea predetto, e più tardi Bouguer e la Condamine nelle vicinanze del Chiboraço, Maskeline ai piedi di una montagna della Scozia, il Barone de Zach presso il monte Minet ne' dintorni di Marsiglia ed altri successivamente lo verificarono. Ricorderete il modo da noi altrove additato per verificare la convergenza de' fili a piombo, or quando tra i due osservatori stia un monte, siffatta convergenza è maggiore di quella che la distanza tra le due stazioni dovrebbe dinotare, il che prova la forza di attrazione della montagna.

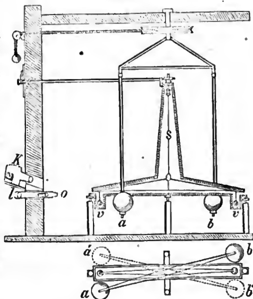
(1) Chiamando a la velocità angolare della terra a λ la latitudine del luogo, la teorica dà $a \operatorname{sen} \lambda$ per la espressione della rotazione intera in una latitudine qualunque.

Si può la stessa cosa rendere aperta ancora per un altro modo. Si ascenda sulla cima di un monte e si misuri la intensità della gravità terrestre, questa si troverà più grande di quel che dovrebbe essere tenuto conto dell' altezza della montagna. Il Carlini misurò la lunghezza del pendolo che batteva i secondi all'Ospizio del Monte Cenisio in Savoia, e da questa misura il professor Giulio di Torino conchiuse che il pendolo era per $0^{mm},214$ più lungo di quello che avrebbe dovuto essere senza l'azione della montagna.

Ma la prova più diretta che tutte le parti della materia a vicenda si attraggono è quella ideata da Michell, e da Cavendish recata a compimento, e non ha guari con nuova diligenza ripetuta dal professor Reich di Freyberg.

Lo strumento di Cavendish è del genere di quelli conosciuti col nome di bilance di torsione: esso è dinotato dalla fig. 34. Le sue parti principali sono un'asta orizzontale sostenuta pel suo mezzo da un sottile filo metallico *s*, e terminata a' suoi estremi da due piccole palle *v*, *v* di piombo; quest' asta con le sue palle abbandonata a se stessa prende una determinata giacitura alla quale non corrisponde torsione nel filo, e questa direzione è detta *linea di quiete*.

FIG. 34.



A ciascuna di queste palle si accosta, con opportuno congegno ad eguali distanze ma da parti opposte, un grosso globo di piombo *a*, *b*; tosto vedrassi l'asta abbandonare la sua giacitura di quiete, e le piccole palle correre ciascuna verso il globo che le è di rincontro, segno evidente di forza attrattiva tra i globi e le palle. Ma siccome in questo moto delle palle, l'asta che le porta torce il filo al quale è sospesa, e la forza con cui il filo resiste alla torsione cresce più rapidamente

che non fa l'attrazione de' due globi, così tosto le due forze diventano eguali: giunte all' equilibrio dovrebbero fermarsi, ma per la velocità acquistata procedono innanzi fino a che la forza di torsione del filo crescendo sempre più non le riconduca indietro, distrutta prima la velocità antecedente: in questo retrocedere le palle oltrepassano, per la velocità acquistata dalla elasticità di torsione, la linea di equilibrio e procedono oltre finchè estinta questa non siano di nuovo costrette ad accostarsi novellamente a'globi da'quali sono attratte: in tal modo esse compiono una serie di vibrazioni le quali a poco a poco scemando di ampiezza, l'asta con le palle si ferma a quella distanza da' globi in cui si ha equilibrio tra la forza attrattiva di questi e la torsione del filo. Tutto l' apparecchio è chiuso in apposita cameretta per metterlo a coperto delle agitazioni dell'aria: è illuminato da fuori mercè una lampada *k*, e lo vibrazioni si osservano mercè un cannocchiale *l o*. I globi si collocano a diverse distanze dalle palle senza entrare nel recinto dello strumento siccome si vede nella figura. Determinando con l' esperienza il punto di mezzo degli archi percorsi nelle vibrazioni si ha la linea di equilibrio senz'aspettare che l' asta si riduca in quiete, ed osservando d'altronde la durata delle vibrazioni, si può misurare la forza attrattiva de'globi e conoscere ch'essa è proporzionale alle masse ed opera in ragione inversa de' quadrati delle distanze. Conosciuta poi col pendolo comune la misura della gravità terrestre si avrà la seguente proporzione: la forza attrattiva de' globi alla gravità terrestre come la massa de' globi alla massa della terra, ed essendo noti i tre primi termini della proporzione, si trova il quarto ch'esprime la massa terrestre in chilogrammi o in altre unità di peso, considerando la terra come pesata per parti successivamente con la propria gravità. Conosciuta la massa ed il volume della terra se ne determina la densità, la quale fu trovata de Hutton dopo avere con maggiore precisione ripetuti i computi di Cavendish eguale a 5 volte e 31 centesimi quella dell' acqua.

Dall' attrazione delle montagne rivelata sul filo a piombo eransi ricavati de' numeri esprimenti la densità media della terra, ma quelli che si ottengono con lo strumento di Cavendish meritano certamente una confidenza maggiore.

Per mezzo di osservazioni e di calcoli gli astronomi giungono a determinare le masse de' pianeti e del sole per rispetto a quella della terra, per cui essendo nota questa, quelle vengono ad essere eziandio conosciute, così il piccolo strumento di Cavendish, conchiude il Pouillet, è una bilancia in cui si pesa il mondo (1).

(1) Potranno gli studiosi riscontrare la memoria di Cavendish nelle Transazio-

LEZIONE X.

BREVE NOTIZIA INTORNO ALLE MACCHINE SEMPLICI.

La esposizione compiuta della dottrina delle macchine appartiene alla meccanica, ma come di queste la fisica spesso si giova, così è mestieri che ne diciamo brevemente tanto che possa bastare al nostro bisogno.

Dicesi macchina ogni strumento per mezzo del quale l'azione di una forza che chiamasi *potenza* si comunica o si dirige contro di un'altra che si denomina *resistenza*, sia per averne equilibrio, sia per superarla ed avere col moto ciocchè suolsi dire lavoro meccanico.

Nel trattar delle macchine soglionsi cercar prima le condizioni di equilibrio, poi quelle dello stato prossimo al moto e finalmente gli effetti o il lavoro meccanico quando sono in azione.

Le macchine sono organi che ricevono e comunicano l'azione della potenza alla resistenza, e però non possono creare o aumentare gli effetti delle forze motrici. Esse valgono a fare economia delle forze, ad applicarle ad usi cui non potrebbero altrimenti essere applicate ed a dirigere la loro azione nel modo che meglio ci conviene. Supponete che un uomo possa portare un peso di 75 chilogrammi alla distanza di 10 metri in un minuto di tempo, quest'uomo potrebbe portare 375 chilogrammi cioè un peso di 5 volte 75 chilogrammi in cinque volte, cioè in 5', se non dovesse perdere il tempo per tornare dopo ogni carico e per addossarsi cinque carichi successivi. Or costui con una macchina la più opportuna potrà in una sola volta portare i 375 chilogrammi alla distanza di 10 metri in 5', salvo le resistenze delle diverse parti della macchina; onde si viene a risparmiare il tempo che sarebbesi perduto nel ritorno ec., e non si è obbligato di dividere a pezzi i 375 chilogrammi di materia. Supponete che si debba elevare un corpo ad una data altezza per mezzo di una fune, se fate uso di una carrucola, invece di tirare di basso in alto

ni filosofiche di Londra per l'anno 1798 che trovasi tradotta in francese nel *Journal de l'Ecole polytechnique*, quaderno 17°, la memoria di Hutton nelle Transazioni filosofiche per l'anno 1821 ed una memoria del Cap. Menabrea nel t. II della serie II. di quelle della R. Accademia di Torino, per vedere il modo di fare l'esperienze ed i calcoli alquanto difficili per le loro riduzioni. Si riscontri finalmente la nota 5 al volume I della fisica matematica del Mossotti altrove citata.

tirerete più comodamente di alto in basso. Qui la macchina vi presenta migliore comodità. Vedrete in molti casi con piccola potenza poter noi vincere grandi resistenze, ma in tutti questi casi quello che si risparmia in forza si perde in tempo, non permettendo la natura di esser violata dall'arte, secondo scriveva il Galilei. La forza di un cavallo che si assume per unità nelle macchine a vapore, è una forza capace di sollevare un peso di 75 chilogrammi ad un metro di altezza in 1" di tempo; or se con la forza di un cavallo vorreste alzare 750^k di peso ad un metro di altezza, lo potreste con una macchina, ma nel tempo di 10". Quando poi si tratta dell'equilibrio non è la potenza che sostiene la resistenza, ma la loro risultante è sostenuta da un fulcro. Queste cose vogliamo aver dette perchè non vi formiate un falso concetto della virtù delle macchine, e non crediate che i loro effetti siano de'paradossi.

Quando si cercano le condizioni di equilibrio in una macchina, si prescinde dall' attrito delle sue parti, ma volendo considerare lo stato prossimo al moto, allora bisogna considerare l' attrito come parte della resistenza ed aumentare proporzionatamente la potenza, dopo questo momento in qualunque modo la potenza si accresca la macchina si metterà in moto.

Sarà per noi sufficiente cercare le condizioni di equilibrio delle macchine semplici, non che di qualche macchina composta di uso più frequente.

Le macchine semplici sono le seguenti:

1° Leva o vette,

2° Carrucola, girella o puleggia,

3° Asse nella ruota o verricello,

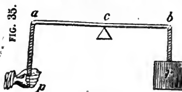
4° Piano inclinato,

5° Vite,

6° Cuneo.

Alcuni vi aggiungono anche la macchina funicolare.

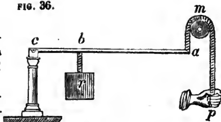
Della leva. — Dicesi leva una verga rigida dritta o curva mobile intorno di un centro o asse che dicesi *fulcro*, *ippomoclio* o *punto di appoggio*, ed alla quale si considerano applicate almeno due forze che tendono a generare moti di rotazione per verso contrario. Una di queste forze dicesi potenza e l'altra resistenza.



Si distingue la leva in tre generi secondo il sito del fulcro per rispetto alla potenza ed alla resistenza.

Se il fulcro si trova tra la potenza e la resistenza (*fig.* 35) la leva si dirà di primo genere.

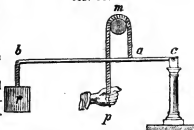
FIG. 36.



Sarà di secondo genere se la resistenza stia tra la potenza ed il fulcro (*fig.* 36).

Di terzo genere finalmente dirassi la leva quando la potenza si trova tra la resistenza ed il fulcro (*fig.* 37).

FIG. 37.



Venendo ora alle condizioni di equilibrio di questa macchina, la supporremo da prima senza peso. Allora è chiaro dover essere, in tutti e tre i generi di leva, il momento di rotazione della potenza eguale al momento di rotazione della resistenza; ossia chiamando p la potenza ed r la resistenza dovrà essere $p \times ac$ eguale ad $r \times bc$, ovvero $p:r::bc:ac$, cioè la potenza alla resistenza in ragion reciproca delle respettive braccia di leva.

Se la potenza e la resistenza, o una di queste forze non siano perpendicolari ad *ac*, *ab*, allora si abbasseranno dal fulcro le perpendicolari alle loro direzioni (*fig.* 38), e queste rappresenteranno le braccia di leva; e ciò per le cose dette in proposito de' momenti di rotazione. Dicasi lo stesso se la leva fosse a gomito, ovvero *zancata* (*fig.*39), per dirlo con voce usata da' nostri padri. Se le forze operino nelle direzioni *Aa*, *bB*, le braccia di leva saranno rappresentate da *Cp*, *Cb*.

FIG. 38.

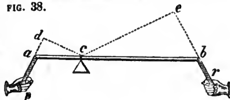
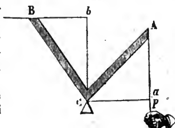


FIG. 39.



Nella leva di primo genere con una potenza qualunque si

può fare equilibrio ad una resistenza qualunque; imperciocchè se fate *ac* mille volte più grande di *cb*, allora con una potenza uno farete equilibrio ad una resistenza mille, e se farete *ac* eguale a *bc*, dovrete per l'equilibrio fare la potenza eguale alla resistenza: quindi il detto di Archimede: *da ubi consistam et coelum terramque movebo*. Ma quando ben considerate la cosa vedrete che tutto riducesi, nel caso di equilibrio, a far che la risultante passi per lo fulcro e il quale deve sostenere la potenza e la resistenza con uno sforzo pari alla loro somma; Archimede perciò contava più sulla forza del fulcro che sulla propria. Quando poi con piccola potenza si muove una gran resistenza si vede che le velocità essendo rappresentate dagli archi descritti nello stesso tempo co' raggi *ca*, *cb*, sono a questi ossia alle braccia di leva proporzionali, e però mentre la potenza percorre uno spazio grandissimo la resistenza ne percorre uno piccolissimo, e quindi si avvera quello che innanzi dicemmo, perdersi cioè in tempo quello che si risparmia in forza.

Quindi nella leva di secondo genere essendo il braccio della potenza maggiore di quello della resistenza, una potenza minore farà equilibrio ad una resistenza maggiore. Il contrario intervenir deve nella leva di terzo genere; onde in quella si ha risparmio di forza in questa invece di tempo. Nella leva possonsi applicare più di due forze alcune delle quali tendono a generare moto di rotazione per un verso ed altre per verso contrario, l' equilibrio allora si avrà quando la somma de' momenti di rotazione delle prime eguagli quella delle seconde.

Finora abbiam fatto astrazione dal peso della leva, ma volendo tener conto anche di questo s' intende doversi esso considerare come una nuova forza applicata nel centro di gravità della leva, la quale forza potendo aiutare la potenza o la resistenza, ne segue che per l'equilibrio dovrà aversi nel primo caso il momento di rotazione della potenza più quello del peso della leva eguale a quello della resistenza, e nel secondo il momento di rotazione della potenza eguale a quello della resistenza insieme all' altro del peso della leva.

FIG. 40.

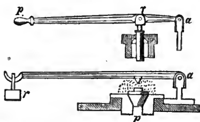


La leva è di un uso molto frequente: così le forbici, le tenaglie, il martello che cava il chiodo, l'altalena ec. son leve di primo genere. Leva di primo genere è la bilancia comune della quale discorreremo a parte tra poco, non che la stadera o bilancia romana (*fig.* 40), nella quale s' intende che la medesima potenza, ch'è il peso del romano *p*, fa equilibrio a pe-

si diversi; e quando la materia da pesare fosse tale che il romano messo all'estremo dell'asta della stadera non potesse più dare l'equilibrio, suolsi ricorrere ad un secondo fulcro che sta più vicino alla resistenza, ed allora dicesi che si passa *dal piccolo al grosso*; in tal modo il romano che in un dato punto dell' asta faceva per esempio equilibrio ad un chilogrammo di materia, potrà con questo cangiamento del fulcro fare equilibrio a 10 chilogrammi, se la ragione tra il braccio della potenza e quello della resistenza sia per tal modo diventata di 10 ad 1. Intenderete eziandio perchè le forbici ordinate a tagliare materie dure, lamine metalliche per esempio, hanno le lame molto corte ed i manichi lunghi, per dare alla potenza il maggior momento di rotazione richiesto a vincer quello della resistenza.

Della leva di secondo genere si fa uso nel muovere gli empoli o stantuffi delle trombe delle quali a suo luogo verremo discorrendo, nelle così dette valvole di sicurezza delle caldaje a vapore (*fig.* 41) ec. (1). Leve di secondo genere sono eziandio i pedali del *pianoforte*, i remi delle barche, le maciulle e le mascelle inferiori quando si mastica co' denti molari più interni.

FIG. 41.



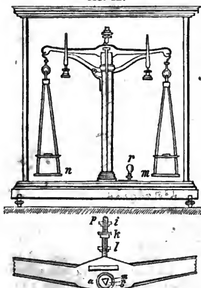
Leve di terzo genere finalmente sono le caccole de' telai, l'asta dell'arrotino, le ossa delle braccia, delle gambe ec.; ed anche la mascella inferiore quando si adoprano i denti incisivi. Prendiamo ad esempio il radio e l'ulna dell'avambraccio: il fulcro è nell'articolazione del gomito, la potenza è rappresentata dalla forza contrattile de' muscoli flessori e la resistenza è il peso stesso dell'avambraccio o di questo insieme con quello del corpo che si volesse innalzare tenuto con la mano. I muscoli sono applicati ad angoli molto acuti sulle ossa, e però il braccio di leva della potenza non è la lunghezza dell'osso compresa tra l'articolazione e l'at-

(1) In una delle due figure e propriamente nella seconda, si vede espressa la valvola di sicurezza. Si tratta di chiudere un foro *p* fatto nella parete superiore di una caldaia a vapore, in modo però che si apra solo quando il vapore interno alla caldaia abbia oltrepassato un certo limite di forza elastica. Si dovrebbe perciò soprapporre al turacciolo che chiude il foro anzidetto un grosso peso: ora mercè una leva con un piccolo peso *r* si può sul turacciolo produrre una grande pressione. Se considerate la elasticità del vapore come resistenza la leva sarà di secondo genere; se poi la forza del vapore la considerate come potenza, allora la leva sarà di terzo genere.

tacco, ma la perpendicolare che dall'articolazione si abbassa sulla direzione del muscolo, il che potrebbe a prima giunta far credere che ci fosse nel muover le membra uno sciupo di forza muscolare senza scopo, trovandosi i muscoli messi in giaciture cotanto sfavorevoli al moto di rotazione, ma ponendovi ben mente si vede che quella parte della forza muscolare inefficace al moto delle membra tendendo a trasferire l'osso contro l'altro con cui si articola, concorre alla stabilità e conservazione del sistema. Potrebbe finalmente credersi non esser noi ben provveduti con leve di terzo genere, essendo esse le più sfavorevoli alla potenza, ma ricordatevi che risparmiando forza si perde tempo, e la leva di terzo genere è quella che dà maggiore velocità alla resistenza: è per questo che il tessitore e l'arrotino se ne giovano, siccome di sopra non è guari dicemmo.

Della bilancia. — La bilancia (fig. 42) è composta essenzialmente di un'asta o giogo girevole intorno di un asse che passi per la metà di sua lunghezza, ed a'cui estremi pendono due coppe, piatti o gusci *m* ed *n*, da'quali lo strumento ha preso il nome. L'asse da cui l'asta è penetrata affinchè possa rotare in un piano verticale è un prisma triangolare *a* di acciaro temperato con uno spigolo rivolto in sotto il quale poggia sopra due piani di agata o altra pietra dura: questo prisma dicesi comunemente *coltello*. Le coppe pendono dal giogo anche con articolazioni mobilissime a doppio coltello. Affinchè il coltello non poggi continuamente sopra i piani di agata, il giogo è sostenuto da una maniera di forchetta la quale mercè un meccanismo si alza e si abbassa muovendo un manubrio *r*. Il centro di gravità del giogo può elevarsi o abbassarsi mercè la madrevite *p* che si muove sulla vite corrispondente. La lunghezza della vite ed il peso della madrevite sono regolati in modo che dando a questa successivamente le giaciture *i*, *k*, *l*, il centro di gravità si trova in *m*, *n*, *o*. Nel primo caso l'equilibrio è instabile e la bilancia dicesi

FIG. 42.



pazza: nel secondo l' equilibrio è indifferente e la bilancia dicesi *sorda*; nel terzo caso finalmente l' equilibrio è stabile ed il giogo compirà una serie di vibrazioni più o meno rapide secondo la varia distanza tra il centro di sospensione ed il centro di gravità, appunto come interviene al pendolo. In questo caso si vedrà che se l'equilibrio non sia perfettamente composto, se vi manchi p. e. un milligrammo, il gogo penderà dal lato del peso maggiore, e per la stessa differenza di un milligrammo, penderà tanto più per quanto meno si sarà abbassato il centro di gravità. Per la qual cosa col muovere la madrevite si potrà far variare a piacimento la sensibilità della bilancia.

Un indice da ultimo fa misurare le inclinazioni o l' ampiezza delle vibrazioni del giogo. Steinheil misura con una precisione maggiore siffatte vibrazioni, collocando uno specchietto piano sul bel mezzo del giogo, e poi con un tendolita guardando in questo specchio la immagine di una scala che sta verticalmente collocata verso il piede del teodolita istesso. Tutta la bilancia si chiude in una cameretta di lastre per preservarla dalle agitazioni dell' aria.

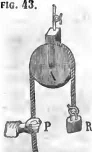
Una buona bilancia deve soddisfare alle seguenti condizioni. 1.° Il giogo deve tenersi orizzontale ed in perfetto equilibrio quando i piatti sono scarichi, per lo che richiedesi che il centro di gravità dello strumento sia nella stessa verticale col punto di sospensione, e che i momenti di rotazione delle due parti della bilancia siano eguali. 2.° È mestieri che il giogo rimanga in equilibrio ed orizzontale, anche tolti i piatti, e che le sue braccia siano di eguali lunghezze. 3.° Il peso della bilancia non deve esser molto, perchè l'attrito non si faccia troppo sentire, e la bilancia sentisse le minime differenze. 4.° Per piccolissime dissuguaglianze tra i due pesi convien che il giogo lentamente s' inclini e si fermi in giacitura obbliqua all'orizzonte, senza che però del tutto trabocchi. 5.° Se il giogo venga per caso ad inclinarsi, quando i pesi sono eguali, non deve rimanere in cotesta giacitura nè traboccare, ma lentamente convien che torni orizzontale come era da prima. 6.° Deve esservi qualche meccanismo che ci avverta quando il giogo è orizzontale e ci mostri eziandio le piccole inclinazioni.

Quando le braccia del giogo non sono eguali la bilancia dicesi falsa, e si verifica l' eguaglianza delle braccia col vedere se l'equilibrio sussiste scambiando i pesi tra le due coppe. Nel caso che questa condizione delle braccie eguali non fosse bene adempiuta, si può trovare ciò non pertanto il vero peso del corpo, sia per mezzo del calcolo, sia col metodo del *pesar doppio* di Borda.

Per far meglio intendere in che siffatto metodo sia riposto fingiamo di voler pesare un centigrammo di una materia qualunque p. e. di platino: mettiamo allora il peso che rappresenta il centi-

grammo in una delle coppe della bilancia e nell'altra una materia qualunque p. e. limatura di ferro tanta che basti a comporre il perfetto equilibrio: dopo tolto il peso che rappresenta esattamente il centigrammo, poniamo nella stessa coppa tanto platino da ricomporre l'equilibrio, è chiaro che questo platino peserà perfettamente quando il peso di un centigrammo di cui ha fatto le veci o in luogo del quale si è sostituito. Volendo poi vedere la squisitezza della bilancia nascente dall'essersi scemato grandemente l'attrito, si equilibra caricata di pesi eguali ne' due gusci, e poi si vede a qual peso aggiunto essa comincia ad inclinarsi: la sua squisitezza sarà tanto maggiore per quanto più piccolo è il peso aggiunto che fa inclinare la bilancia e per quando più grandi eran quelli da'quali era da prima caricata. Per una teorica più estesa della bilancia mandiamo gli studiosi all'opera del Pacinotti altre volte citata (1).

FIG. 43.

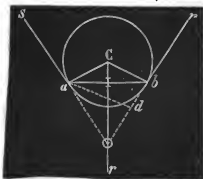


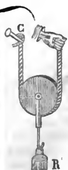
Con la bilancia da noi descritta si conosce il peso relativo e non l'assoluto de' corpi.

Carrucola. — La carrucola o puleggia è un cilindro di piccola altezza, mobile intorno dell'asse avente nella superficie convessa una scanalatura per la quale passa una fune che quando è tirata lo fa rotare intorno dell'asse. Essa si adopera in due modi, o tenendone fisso il centro, o facendo in modo che si trasferisca insieme con la potenza (V. le figure 43 e 44).

Le condizioni di equilibrio della carrucola fissa sono molto facili ad intendere perocchè la potenza e la resistenza essendo egualmente lontane dal centro, è chiaro che per avere momenti di rotazione eguali è mestieri che sia la potenza eguale alla resistenza; e però quando la macchina è in moto la potenza e la resistenza avranno velocità eguali.

FIG. 44.





Nella carrucola mobile poi (*fig.* 44)

(1) Meccanica architettonica ed industriale ec. Pisa 1848.

un capo della fune è legato ad un punto fisso C, ed all' estremo dell'altro opera la potenza P, in guisa che la carrucola sale portando seco la resistenza R. Esprimendo as, bp i due capi della fune, ed abbassando dal punto a la ad perpendicolare sulla direzione di pb, è chiaro che tirando la fune pb si avrà un momento di rotazione riferito al centro a, espresso dalla potenza moltiplicata per ad, contro del quale opera il momento di rotazione della resistenza riferito al medesimo centro ed espresso dal prodotto di questa per al; si deve dunque avere per l' equilibrio $p \times ad = r \times aI$ cioè $p : r = aI : ad$; ma pe' triangoli simili CaI, abd si ha $al : ad = aC : ab$, avremo dunque finalmente $p : r = aC : ab$, vale a dire che la potenza dovrà stare alla resistenza come il raggio della carrucola, alla corda che congiunge i due punti ne' quali la fune si stacca dalla medesima; e però quando i due capi di fune sono paralleli si avrà la potenza alla resistenza come 1 a 2: per la qual cosa si viene con questa macchina a risparmiare la metà della forza perdendo un doppio tempo.



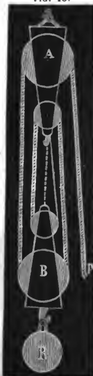
FIG. 45.

S'intende poi che se la corda fosse eguale al raggio, la potenza dovrebbe essere eguale alla resistenza.

Spesso si uniscono più carrucole mobili e si ha una macchina composta che ha il nome di *polispasto* o *taglia*.

Il polispasto è rappresentato dalla figura 45, ed è chiaro di per se. Quando tutte le carrucole sono eguali e tutte le funi sono parallele, come d' ordinario interviene, si ha l'equilibrio facendo che la potenza stia alla resistenza come 1 a 2 elevato a quadrato se le carrucole son due, a cubo se son tre, a quarta potenza se son quattro ec. Ed in fatti nel caso espresso dalla figura chi non vede che la potenza p deve stare alla resistenza R come 1 a 16 ? Pe-

FIG. 46.

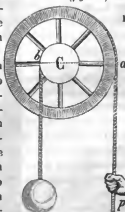


rocchè se la potenza fosse applicata alla carrucola *a* dovrebbe essere la metà della resistenza, applicata in vece alla carrucola *b* dovrebbe essere la quarta parte, all'altra *c*, l'ottava parte e finalmente all'ultima *d* la sedicesima parte. La carrucola fissa *e*, detta di *rimando*, non fa variare la ragione tra la potenza e la resistenza, ma rende l'applicazione della potenza più comoda (1).

Nel sistema di taglie poi dinotato dalla figura 46, nel caso delle funi parallele; si ha l'equilibrio facendo la potenza alla resistenza come uno al numero de' capi di fune, e però nel caso nostro dovrebbe stare $P : R = 1 : 5$, il che s' intenderà subito, senza ricorrere a più elevate dimostrazioni, sol che si ponga mente a' 5 capi di fune che sostengono la resistenza per cui la potenza *P* non deve sostenere altro che la quinta parte del peso *R*.

Asse nella ruota. — Immaginate una ruota ed un cilindro insieme congiunti e mobili intorno del loro asse comune (*fig.* 47). Fate che una forza in modo qualunque applicata alla circonferenza della ruota la costringa a girare intorno del suo asse insieme col cilindro, sulla superficie del quale si avolga una fune al cui estremo stia legato un peso, ed avrete un' idea della macchina conosciuta col nome di asse nella ruota. Se in vece della ruota vi fossero de' raggi solamente o delle manovelle la macchina non cesserebbe di essere la stessa. Quando la ruota è verticale e l' asse orizzontale suol denominarsi da meccanici *verricello* o *burbera*, ha il nome di *argano* poi quando

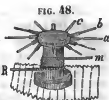
FIG. 47.



(1) Per la dimostrazione generale di questo teorema v. il supplemento intorno alle macchine da me aggiunto alla traduzione del Pouillet, oltre cento altre opere sia di fisica sia di meccanica che non è mestieri venir ricordando.

la ruota è orizzontale e l'asse è verticale (*fig.* 48). Affinchè la fune non si aggomitoli sull' asse una persona la svolgerà continuamente tirandola verso *m*, in quello che la resistenza è tirata verso *R*, mentre più persone comunemente si applicano a dar moto alla macchina mercè i raggi o manovelle *a*, *b*, *c*.

FIG. 48.



Volgendo uno sguardo alla figura 47 si vedrà agevolmente come essa riducasi ad una leva, in cui il braccio della potenza è *Ca*, raggio della ruota, e quello della resistenza *Cb*, raggio del cilindro, onde è chiaro che prescindendo dall' attrito e dalla rigidezza della fune dovrà per l' equilibrio aversi la potenza alla resistenza come il raggio del cilindro a quello della ruota. Per la qual cosa se il raggio della ruota fosse decuplo di quello del cilindro, con una potenza uno si farà equilibrio ad una resistenza 10.

Con funi perpetue e con ruote dentate si formano delle macchine composte, mercè le quali il moto non solo si comunica da una ruota ad un' altra, ma si modifica a piacimento la velocità.

Siano da prima *A* e *B* due ruote co' loro assi (*fig.* 49), ed una fune passi sulla circonferenza scanalata di *B* e sull'asse o rocchello di *A*: sia la circonferenza di *B* dieci volte maggiore di quella del rocchello o asse di *A*, è chiaro che facendo fare un giro alla ruota *B* sia con un manubrio sia con un peso *R*, passerà sul rocchello di *A* tanta fune per quant' è la circonferenza di *B* e quindi questo rocchello di *A* dovrà fare 10 giri ed altrettanti per conseguenza la sua ruota.

FIG. 49.

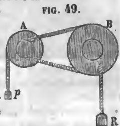
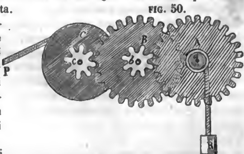


FIG. 50.

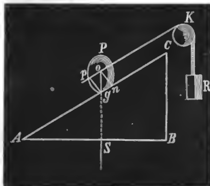


Supponete in secondo luogo le ruote *A*, *B*, *C* di cui le due prime sian dentate, ed i rocchelli *b* e *c* dentati anch'essi, in guisa che i denti della ruota *A* ingranino in quelli del rocchello *b*, e i denti della ruota *B* in quelli del rocchello *c*. Supponete che ciascuna ruota abbia 24 denti ed 8 ne abbia ciascun rocchello, è chiaro che mentre la ruota *A* fa un giro il rocchello *b*

e quindi la ruota B ne farà tre, e per la stessa ragione mentre questa ne fa tre l'altra seguente ne fa nove, dunque la velocità di A si trasfonde a C moltiplicata per 9. Laonde con una potenza **P** si farà equilibrio ad una resistenza R nove volte più grande (1). Queste nozioni basteranno per intendere in alcuni casi che ci occorreranno, l'uffizio delle funi perpetue e delle ruote dentate.

Piano inclinato. Dalle cose dette in proposito del piano inclinato del Galilei s' intende che per sostenere un corpo sopra un piano inclinato ci vuole una forza minore di quella che dovrebbe sostenerlo per la libera verticale. Se dunque sul piano inclinato AC (*fig.*51) stia un corpo qualunque **P** tirato da una fune oK parallelamente al piano, è chiaro che il peso R che farebbe equilibrio al corpo **P** dovendo opporsi alla sola gravità relativa, dovrà essere tanto più piccolo di **P** per quanto CB è minore di AC, ossia la potenza dovrà stare alla resistenza, come l' altezza del piano alla sua lunghezza.

FIG. 51.

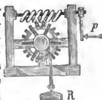


Della vite, *e del cuneo.* — Non mi starò a darvi la teorica di queste due macchine perchè quella della vite dipende dal piano inclinato e richiederebbe un discorso alquanto più lungo di quello che io debbo spendere sopra un argomento che non è di pertinenza della fisica, e del cuneo non incontra quasi mai di dovere fare uso nelle nostre sperienze; per la qual cosa inviando gli studiosi alle giunte da me fatte al Pouillet o a qualunque opera di meccanica, mi contenterò solo di dirvi che nella vite adoperata a stringere o ad innalzare corpi, deve per l'equilibrio stare la potenza alla resistenza come il passo della vite alla circonferenza descritta dalla potenza. Spesso trovate la vite combinata con l'asse nella ruota nel

(1) La regola generale per avere la ragione tra la potenza e la resistenza in una serie di ruote dentate è questa: *la potenza starà alla resistenza*, *come il prodotto de' denti de' rocchelli a quello de' denti delle ruote*; e però nel caso nostro si avrebbe come 64 : 576 ossia come 1 : 9.

modo espresso dalla figura, 52 essa allora prende il nome di vite perpetua. Voi vedete come girando il manubrio *P* per una intera circonferenza la vite farà girare la ruota d' un dente il quale se rappresenti la ventiquattresima parte della circonferenza della ruota, la resistenza *R* ascenderà per un' altezza pari alla ventiquattresima parte della circonferenza del cilindro o asse della ruota; per la qual cosa troverete che nel caso di equilibrio la potenza dovrà stare alla resistenza come il prodotto del passo della vite per lo raggio del cilindro, al prodotto della circonferenza descritta dalla potenza per lo raggio della ruota.

FIG. 52.



Nel cuneo finalmente la potenza deve stare alla resistenza come la base del triangolo che ne rappresenta la sezione, sta all'altezza.

LEZIONE XI.

DELL' AZIONE DELLA GRAVITA' SOPRA I LIQUIDI.

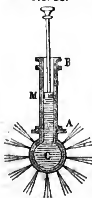
IDROSTATICA.

Sopra i liquidi operano due maniere di forze, le forze molecolari cioè è la gravità. Le prime sono molto deboli per rispetto a quelle de' solidl e de' fluidi aerei, ma non sono nulle come potrebbe per avventura sembrare a prima giunta, ed appariranno molto spiccate sempre che si prendano masse liquide molto piccole sulle quali la gravità, che opera in ragion delle masse, riesce poco sensibile, allora vedrete la goccia di mercurio farsi rotonda sulla tavola, le gocciole di acqua sulle foglie delle piante assumere una configurazione particolare ec. Quando poi i liquidi ci si offrono in grandi masse allora l'azione prevalente della gravità fa quasi sparire gli effetti delle forze molecolari. Noi in questo momento volendo prescindere da queste ultime forze, supporremo le nostre sperienze fatte sopra grandi masse liquide.

La gravità operando sopra i liquidi possono avverarsi o le condizioni di equilibrio o quelle di moto, e però si ha l'*idrostatica* nel primo caso, la *idrodinamica* nel secondo. Quando poi si considera l'azione della gravità sull'aria o sopra gli altri fluidi elastici si ha l'*aerostatica* o l'*aerodinamica*.

Per bene intendere il modo di operare della gravità sopra i liquidi è mestieri premettere un principio conosciuto col nome di principio di eguaglianza di pressione; esso può enunciarsi così: *i liquidi hanno la proprietà di trasmettere per ogni verso le pressioni che ricevono alla loro superficie, ossia, per una sola direzione.* Questa verità che i meccanici sonosi ingegnati di dimostrare muovendo da considerazioni più o meno ipotetiche, in fisica è tenuta come assioma, e però dobbiamo solo proccurare di farla intendere. Supponete un vaso cilindrico pieno di un liquido senza peso e sulla superficie di esso uno stantuffo ancor esso, per ipotesi, non pesante, è chiaro che se nelle parcti o nel fondo di questo vaso venisser praticati de' fori il liquido non dovrà sgorgare. Ma poniamo sullo stantuffo un peso di 10^k p. e., allora ogni falda orizzontale del liquido patirà una pressione di 10^k, e quindi anche il fondo sopporterà la stessa pressione. Or supponete forata la parete verticale del vaso è chiaro per questo foro scappar fuori il liquido con una forza di 10^k se il foro fosse ampio quanto lo stantuffo. E se finalmente supporremo forato lo stantuffo, il liquido uscirà per questo foro con una forza di 1^k p. e. se il foro fosse quanto la decima parte dello stantuffo. Ecco dunque la pressione, in origine diretta di alto in basso, propagarsi egualmente di basso in alto e per direzioni laterali. Ma se volete un esperienza la quale dipende da siffatto principio prendete una canna metallica (*fig.* 53) terminata da un globo vuoto *C* e forato intorno a guisa di grattugia, e poscia pieno il globo con una parte della canna di acqua, premete questa con apposito stantuffo *N*, e tosto vedrete l'acqua zampillare per tutte le direzioni.

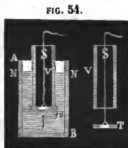
FIG. 53.



Facendoci ora a considerare un liquido qualunque col suo peso, contenuto in un vaso, agevolmente intenderemo come la prima falda preme sulla seconda e la sua pressione si trasmette per ogni verso; ma la prima e la seconda premono sulla terza e così appresso, onde la pressione dall'alto in basso crescendo col numero delle falde liquide, ossia con la profondità al di sotto della superficie del liquido, crescerà eziandio la pressione laterale e quella di alto in basso. E questa pressione che in ultimo si esercita contro le pareti ed il fondo del vase trovasi anche nell'interno del liquido, e la patirebbe un corpo che vi fosse immerso, varia al variare delle profondità, siccome la patiscono le molecole stesse del liquido. Prendete un cannello di ve-

tro *V* (*fig*.54) alquanto largo, bene spianato nella parte inferiore dell' orlo ed un disco *T* di vetro o di metallo sostenuto da un filo *S*; immergete il cannello *V* nell'acqua contenuta nel vase *AB*, tirando con la mano il filo *S* onde il disco *T* combaci con l'orlo del cannello: se lasciate il filo quando il cannello è poco immerso nel liquido il disco cadrà in fondo dell' acqua, ma se sarà tuffato ad una certa profondità allora vedrete il disco mantenuto con più o meno di forza contro l' orlo del cannello per la pressione del liquido di basso in alto.

FIG. 54.

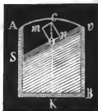


Si può anche in altro modo vedere come il liquido prema intorno intorno, e come questa pressione cresca con la profondità. Prendete una vescica piena di un liquido colorito, al collo della quale sia adattato un lungo cannello di vetro, tuffatela nell'acqua e vedrete il liquido montar su nel cannello in ragione che la vescica va più in fondo.

Ciò premesso facciamoci a cercare le condizioni di equilibrio de' liquidi considerati sotto l'imperio delle gravità. Cosiffatte condizioni si riducono a due. 1.° Conviene che le molecole superiori e libere formino una superficie cui la direzione della gravità sia perpendicolare, supposto ch' essa vi operi sola, e se vi sia altra forza oltre alla gravità, allora la superficie del liquido deve disporsi perpendicolare alla risultante di tutte le forze. 2.° Ogni molecola deve essere intorno intorno egualmente premuta.

1.° Supponete per poco che essendo *CK* la direzione della gravità che opera sul liquido contenuto nel vase *AB* (*fig*. 55), non sia per pendicolare alla superficie *Sv* del medesimo liquido, allora è chiaro ch'esprimendo con *CO* la intensità della gravità, questa si potrà risolvere in due componenti, una *Cn* perpendicolare alla superficie del liquido, la quale perciò rimarrà distrutta dalla resistenza di questo, ed un' altra *Cm* parallela alla superficie anzidetta, la quale per conseguenza genererà moto nelle molecole del liquido e non si avrà l'equilibrio.

FIG. 55.

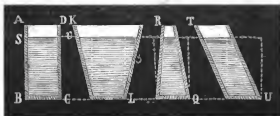


2.° La seconda condizione è di per se manifesta, perocchè se una molecola quale si voglia fosse da una parte più che da un' altra spinta, dovrebbe muoversi per lo verso della forza maggiore e non potrebbe stare in equilibrio.

Dalla prima condizione di equilibrio di sopra esposta deriva, che operando sulle acque de' mari non solo la gravità, ma eziandio la forza centrifuga deve alla superficie di questi esser perpendicolare la risultante di entrambi, e però non può aversi la figura sferica ma deve aversi lo sferoide. Lo stesso principio vi dà ragione ancora della configurazione delle gocciole di mercurio varia secondo la loro grandezza, per la doppia efficacia della gravità e delle azioni molecolari: queste tendono a generare la sfera, quella tende a disporre il liquido in superficie orizzontale o di livello, per cui operando insieme ne risulta una superficie che si accosta tanto più alla sfera per quanto più poca è la massa, e tanto più all'orizzontale per quanto più la massa è considerevole.

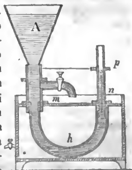
Supposto ora un liquido in equilibrio in un vase, si può domandare quale sia la pressione che siffatto liquido esercita sul fondo orizzontale o sulle pareti del vase suddetto. E cominciando dalla pressione sul fondo diciamo, essa essere eguale al peso di una colonna liquida che abbia per base il fondo del vase e per altezza l'altezza di livello, sia quale si voglia la figura del vase. Per la qual cosa se ci siano i quattro vasi dinotati dalla figura 56, che abbiano eguali i fondi e contengano un medesimo liquido che in tutti si elevi al medesimo livello, tutti soffriranno le stesse pressioni nelle loro basi. E questo si è detto primo paradosso idrostatico. Supponiamo da prima il vase *AC* cilindrico o prismatico, è chiaro che la pressione sul fondo *BC* dover essere eguale al peso del liquido che in esso vase si contiene Ora supponete il secondo vase *KL* che abbia il fondo eguale a *BC* e la stessa altezza di livello, si vede agevolmente come una parte della pressione si esercita contro le pareti inclinate, e sul fondo altro non preme che una colonna liquida pari a quella del vase antecedente. Se poi il vase si restringa in alto come *RQ* allora sulle pareti inclinate si eserciteranno delle pressioni di basso in alto le quali tenderebbero a sollevare queste pareti e per necessaria conseguenza queste pressioni debbono reagire sul fondo e premerlo verso gli orli con pressioni eguali a quelle di mezzo. Onde ne risulta che nel primo vase la pressione sul fondo

FIG. 56.



eguaglia il peso del liquido, nel secondo la pressione è minore del peso, nel terzo finalmente il peso è minore della pressione. Ma nel secondo, se unite la pressione sul fondo a quella sulle pareti, avrete il peso, e nel terzo il peso si avrà sottraendo dalla pressione sul fondo quella di basso in alto che fa impeto sulle pareti, e così ogni maraviglia si dilegua. Nell'ultimo vase inclinato poi ed in altri somiglianti non riuscirà malagevole il dimostrare come con lo stesso fondo e con la stessa altezza di livello, essendo il liquido lo stesso, abbiasi sempre la stessa pressione; ma non volendo entrare in considerazioni matematiche, indicheremo come si possa questa stessa verità rendere aperta con l'esperienza. Immaginate un cannello di vetro *h* ricurvo ed alquanto grosso (*fig.* 57) in cui ci sia del mercurio, e dalla parte *m* supponete congiunto a vite un vase senza fondo di qualunque forma *A*, con entro acqua, vedremo il mercurio che nell'opposto braccio era p. e in *n* elevarsi fino a *p*, si segni questo punto con porvi un pezzo metallico corsoio, e poscia tolta l'acqua mercè apposita chiavetta, ed indi in luogo di questo vase *A*, posto un altro vase cilindrico o di qualsiasi altra figura, e pieno di acqua fino all'altezza di prima, si vedrà il mercurio nella opposta branca del cannello elevarsi sempre fino al punto *p*; il che chiaramente dimostra, la pressione sul fondo dei vasi non dipendere punto dalla forma di questi, ma sì bene dall'ampiezza del fondo, dall'altezza di livello e dalla densità del liquido. Ci sono anche altre maniere di rendere con l'esperienza manifesta la stessa verità, come per esempio, il così detto apparecchio di Pascal; ma per noi basti avere additato quello di Haldat, che ci sembra più facile e spedito.

FIG. 57.



Noi dunque sappiamo che la pressione sul fondo di un vase è sempre eguale al peso di una colonna di quel liquido che il detto vase contiene, la quale abbia per base il fondo del vase e per altezza l'altezza di livello; or volendo tradurre cotesta pressione in peso, non si dovrà fare altro che moltiplicare il volume della colonna anzidetta per la densità del liquido. Se il fondo del vase p. e. sia di 10 centimetri quadrati e l'altezza di livello di 6 centimetri, il volume della colonna liquida sarà di 60 centimetri cubici: se dunque il liquido contenuto nel vase fosse acqua distillata, pesando ogni centimetro cubico un grammo, la pressione sarà di 60 grammi; ma se il liquido fosse mercurio essendo questo per 13 volte e 59

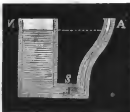
centesimi più pesante dell'acqua, converrà moltiplicare 60 per 13,59 per avere la pressione estimata in peso, la quale si troverebbe di 815,^{gr} 40 (1).

Considerando ora la pressione sulle pareti verticali s'intende come questa debba esser varia col variare dell'altezza di livello. Per la qual cosa dividendo una parete in zone orizzontali piccolissime, ciascuna di queste soffrirà una pressione eguale al peso di una colonna liquida avente per base la zona e per altezza la corrispondente altezza di livello: onde moltiplicando ciascuna di queste zone per la rispettiva altezza di livello, la somma di tutti questi prodotti rappresenterà il volume della colonna liquida, il cui peso dinota la intera pressione che soffre la parete verticale di cui si parla; ma siccome in meccanica si dimostra, che la somma di tutti questi prodotti eguaglia quello di tutta la superficie della parete per l'altezza di livello del centro di gravità di questa considerata come figura geometrica, così la pressione si determinerà in questo secondo modo assai più speditamente.

Il punto per cui passa la risultante di tutte le pressioni che il liquido esercita contro una parete, che in altri termini è il centro di un sistema di forze parallele, *centro di pressione* si addimanda. Esso del pari che il centro di gravità si determina con metodi del tutto matematici, i quali oltrepassano i limiti che abbiamo dovuto assegnarci. Solo noteremo come le pressioni sulle pareti potendo esser rappresentate da forze parallele e crescenti con le profondità al di sotto della superficie di livello, e la risultante accostandosi sempre verso le componenti maggiori, ne segue, il centro di pressione non potere coincidere col centro di gravità delle pareti verticali de' vasi, ma dovere di necessità trovarsi più basso.

Vasi comunicanti.— Quando in due o più vasi, che tra loro siano in comunicazione mercè uno o più cannelli, siavi un medesimo liquido, si avrà l'equilibrio quando non solo in ciascun vase il liquido abbia la superficie di livello, ma quando tutte le superficie siano al medesimo livello. E per fermo, supponete i due vasi comunicanti dinotati dalla figura 58, è chiaro prima di tutto per le cose dette di sopra, che li liquido in essi contenuto dovrà disporsi a livello in ciascun vase; in secondo luogo s'intende che volendosi l'equilibrio delle due pressioni, dovrà in ciascuna sezione del cannello di comunicazione avverarsi

FIG. 58.



(1) In generale chiamando s la superficie del fondo, a l'altezza di livello e d la densità del liquido, si avrà la pressione $p=sad$.

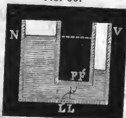
che la pressione da una parte sia eguale a quella che proviene dalla parte opposta; onde, considerando una sezione qualunque S, moltiplicando questa sezione per le due altezze di livello dovranno aversi prodotti uguali, il che non può avverarsi se non con eguali altezze di livello. E ciò avverandosi independentemente dai diametri e dalle forme de'vasi, nasce il secondo paradosso idrostatico per lo quale risulta potersi con piccolissima quantità di liquido contenuta in un vase molto angusto fare equilibrio ad una enorme quantità del medesimo raccolta in un ampio recipiente. Ma ogni stupore si dilegua qualora considerate che il liquido contenuto nel vase angusto non deve sostenere tutta, ma solo una parte della pressione del liquido contenuto nel vase più grande, il resto essendo sostenuto dalla parete del vase anzidetto.

Premendo con uno stantuffo N (*fig.* 59) sulla superficie del liquido contenuto nel vase più piccolo si potrà con poca forza sollevare una gran massa di liquido contenuto nell'opposto vase, ma anche quì si avvera, che quello che si risparmia in forza si perde in tempo, perocchè se la sezione del vase più piccolo sia la decima parte di quella del vase grande, mentre il livello in N si abbassa per 10, in M sale per uno. L'opposto interverrebbe premendo con lo stantuffo in M, onde risultano le masse liquide in moto, in ragione reciproca delle velocità. Su questo principio si adagia la teorica dello strettojo idraulico di cui potete trovare la descrizione in molte opere di fisica, come per esempio in quella del Pouillet, che dopo il volgarizzamento da me fattone è renduta molto comune tra noi. Non mi starò a descrivervi il mantice idrostatico col quale i fisici solean dimostrare anche il primo paradosso, perchè credo quello che ne abbiamo detto poter esser per noi sufficiente.

FIG. 59.

Se poi ne' due vasi (*fig.* 60) si pongano due liquidi diversi come per esempio acqua e mercurio, allora è chiaro le altezze di livello non poter essere più eguali nel caso di equilibrio, ma dover essere il livello dell'acqua tanto superiore a quello del mercurio, per quanto la densità di questo supera la densità di quella, ossia le altezze di livello debbono essere in ragion reciproca delle densità de' liquidi (1). Per cui se le al-

FIG. 60.



(1) Chiamando p e p' le pressioni a ed a' le altezze di livello, d e d' le den-

tezze di livello sono bene determinate si può conoscere la ragione tra le densità de' due liquidi. Vuolsi per altro avvertire che se il cannello che congiunge i due vasi fosse alquanto ampio non si potrebbero i due liquidi tenere separati, ma incontrandosi nel cannello anzidetto, invece di offrire una superficie di separazione verticale come *FL*, la presenterebbero da prima curva come *FL'* e tosto il liquido più denso dividendosi lo spazio col meno denso si disporrebbe sotto di questo secondo l'ordine delle densità, il più leggiero rimanendo di sopra.

Se uno de'vasi fosse di picciolissimo diametro, quello che di sopra abbiamo detto non si verificherebbe più con tutta precisione, perchè verrebbe in mezzo perturbatrice delle leggi della gravità una forza molecolare della quale terremo a suo tempo apposito discorso, e che è detta forza capillare, o di capillarità.

Anche i mari si possono considerare come vasi comunicanti, e però dovrebbero tutti avere la stessa altezza di livello; ma ciò non di meno da parecchie livellazioni risultano alcune maravigliose differenze; così per esempio il mar rosso sarebbe di livello superiore al mediterraneo di circa 8 metri. Di questo fatto le cagioni potrebbero esser varie ma non saprei se tutte o alcune sole concorressero a manifestarlo.

LEZIONE XII.

AZIONE DELLA GRAVITA' SOPRA I FLUIDI AEREI.

AEROSTATICA

L'aria non è un corpo che si annunzia così facilmente a' nostri sensi come i solidi ed i liquidi, ma non per questo la sua esistenza è meno certa per noi, perocchè non solo il vento ed il fatto della nostra respirazione bastano a chiunque per persuadersi che noi viviamo nell'aria, ma l'esperienza dell'accendifuoco pneumatico ci ha mostrato la compressibilità e la elasticità della medesima, ed altre sperienze altrove citate ci han mostrata eziandio la sua dilatabilità. L'aria si è detta incolora, ma senza fondamento, perocchè sebbene in piccole falde non mostri colore sensibile, pure l'azzurro della volta celeste appartiene all'aria. Da prima col nome di aria s'intese l'unico fluido nel quale viviamo e che circonda la terra

sità de' liquidi e finalmente S una sezione qualunque FL del cannello di comunicazione si avrà $p=sad$ e $p'=s'a'd'$ e quindi $ad=a'd'$ ossia

$$a : a' = d' : d.$$

intorno intorno fino ad una certa altezza, ma poi furono scoperti altri fluidi che sebbene elastici come l'aria, pure se ne distinguono per alcune singolari proprietà; essi furono denominati ariè con alcuni aggiunti, come per esempio *aria flogisticata*, *aria deflogisticata*, *aria infiammabile* ec.; ma poi con voce più barbara tutte queste arie furono dette *gas*, e con la nuova chimica quelli aggettivi furono mutati, e si ebbero il gas azoto, il gas ossigeno, il gas idrogeno ec. Ora tutti questi fluidi aerei si somigliano per le forze molecolari e per lo modo di operare della gravità sopra di essi, perciò distinti innanzi al chimico per la loro intima natura, ossia per le diverse materie onde sono formati, son considerati dal fisico in comune, perocchè, come meglio a suo tempo vedremo, sia quale si voglia la natura di un corpo, esso può trovarsi allo stato solido, allo stato liquido o allo stato aeriforme, o come dicesi allo stato gassoso, ed il passar di un corpo d'uno in altro stato è fenomeno di pertinenza della fisica.

L'aria propriamente detta sarebbe secondo i chimici l'unione di due fluidi o gas ch'essi dicono ossigeno ed azoto, il primo che serve alla respirazione degli animali ed alla combustione de'corpi, ed il secondo che inetto a questi uffizî pare che moderi la soverchia efficacia del primo, per non dire di tutti gli altri usi cui entrambi sono dalla Provvidenza ordinati. Ma come insieme con l'aria propriamente detta trovansi mescolati ancora altri fluidi aereiformi, come vapore acqueo, gas acido carbonico ec., così i chimici denominano questo mescuglio, aria atmosferica, ed atmosfera si dice tutto il grande oceano aereo che circonda il nostro pianeta. E poichè tutt'i fluidi aerei o gas debbono da noi esser considerati in comune sotto il doppio aspetto delle forze molecolari e della gravità, così useremo semplicemente la voce aria quante volte non ci sia necessità di parlare di qualche fluido aereo in particolare.

L'aria dunque siccome i corpi solidi e liquidi sta sotto l'imperio delle forze molecolari e della gravità. Le forze molecolari nei fluidi aereiformi mostransi d'indole ripulsiva vale a dire che le molecole di cotesti corpi par che tendano ad allontanarsi continuamente, e però ne risulta in essi una virtù espansiva indefinita.

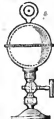
E per fermo prendete una vescica semiafflosciata e chiusone il collo, sia con un laccio sia con apposita chiavetta, introducetela nel recipiente della macchina pneumatica; estraendo l'aria da cotesto recipiente, voi vedrete la vescica gonfiarsi quasi alcuno vi soffiasse dentro, il che chiaramente dimostra quella virtù espansiva della quale io vi parlava, e che si è anche detta *tensione* o forza elastica de'fluidi aereiformi. Noi non possiamo prescindere da questa forza quando vogliamo considerare gli effetti della gravità

sopra i fluidi elastici, cosa che abbiam potuto fare co' liquidi considerandoli come contenuti in vasi molto ampi.

Che l'aria e tutti gli altri fluidi che le somigliano,o vogliam dire gas, siano pesanti, senza andar cercando più antiche prove, si dimostra oggi nel modo il più materiale ed evidente, perocchè se vuotato d'aria un globo di cristallo e chiuso con chiavetta lo ponete in una delle coppe di una buona bilancia, equilibrandola con pesi nella opposta coppa, tosto che aprirete la chiavetta udrete il rumore dell'aria che si precipita nel globo, e vedrete la bilancia pendere dal lato di questo.

Se dunque l'aria è pesante e le sue molecole hanno anche maggiore mobilità di quelle de' liquidi, ne segue applicarsi anche ad essa il principio di eguaglianza di pressione. E veramente con molte sperienze si dimostra premer l'aria di alto in basso, di basso in alto e lateralmente. Ed in prima s'abbia un cilindro o cono tronco di ottone vuoto di dentro e senza fondo: dalla parte di sopra si copra con una membrana di vescica ben legata intorno da non permettere il passaggio all'aria, o pure con una lastra di vetro, chiudendo bene la commessura con una pasta di cera ed olio: con la base inferiore bene spianata, l'anzidetto cono o cilindro si adatti al piatto della macchina pneumatica. Prima di estrarre l'aria la vescica si manterrà piana perchè se da sopra sostiene la pressione dell'aria, di sotto fa impeto la forza elastica dell'aria rinchiusa nel piccolo recipiente; ma come prima si dà moto agli stantuffi, la membrana vedrassi distendersi ed incurvarsi in sotto e spesso creparsi facendo un colpo come di pistola. Se invece della membrana avete fatto uso della lastra di vetro, la vedrete in un sol colpo infranta e ridotta in minuti frammenti. Volendo con altra esperienza osservare la pressione di basso in alto, prendete un bicchiere pieno di acqua e coprendolo con un disco di carta poco più ampio dell'orifizio del bicchiere, con la palma della mano premetelo contro l'orlo di questo, e poi destramente rovesciate il bicchiere in modo che si trovi con l'orifizio in sotto: allora tolta la mano che premeva il disco di carta, si vedrà questo rimanere aderente all'orifizio anzidetto e sostenere il peso dell'acqua senza incurvarsi dalla parte di sotto, anzi incurvandosi verso l'interno del bicchiere, annunziando una pressione maggiore di basso in alto.

FIG. 61



Gli emisferi di Magdemburgo (*fig.* 61) mostrano ad un tempo la pressione dell'aria per ogni verso. Essi sono due emisferi di ottone vuoti e ben combacianti negli orli: i medesimi possono facilmente separarsi quando nella cavità sferica che rimane di dentro ci

stia l'aria, perocchè la pressione esterna è in equilibrio con la elasticità dell aria che sta entro gli emisferi; ma dopo che con la macchina pneumatica per apposito meato avete tolta o forse meglio rarefatta di molto l'aria interna, i due emisferi si mostreranno talmente aderenti, che se sono alquanto grandi, spesso non basta la forza di due uomini robusti a separarli, ma torneranno a separarsi con la stessa facilità di prima dopo che l'aria vi sarà rientrata. Che queste pressioni siano perfettamente eguali per ogni verso sarà meglio tra poco dimostrato.

Mettendo da banda mille altre sperienze mercè le quali si potrebbe dimostrare la stessa cosa, ricordiamone una la quale non solo dimostra l'esistenza della pressione dell'aria, ma ce ne dà in pari tempo la misura. Questa esperienza molto importante appartiene ad Evangelista Torricelli.

Abbiasi un cannello di vetro lungo una trentina di pollici chiuso da una parte ed aperto dall'altra ; si empia di mercurio purissimo il quale vi si faccia bollire dentro affinchè si espella qualche poco d'aria che contenere vi si potesse ; indi chiuso il cannello col dito si capovolga in un pozzetto contenente altro mercurio e poi si levi il dito, il mercurio si vedrà discendere alquanto nel cannello e poi fermarsi ad un' altezza di circa 28 pollici ovvero di 76 centimetri al di sopra del livello del pozzetto. Or chi mantiene questa colonna di mercurio elevata per 28 pollici al di sopra del livello del liquido nel pozzetto? Certamente è l'aria che a guisa di stantuffo preme la superficie del mercurio nel pozzetto senza poter premere del pari al sommo della colonna elevata nel cannello, perchè questo essendo chiuso di sopra non può ricevere aria , e quello spazio che rimane del cannello non occupato dal mercurio è il vuoto più perfetto che abbiamo, e suol denominarsi *vuoto torricelliano.* Fate che il cannello si apra dalla parte di sopra sicchè l'aria vi possa entrare, e tosto il mercurio discenderà per porsi al medesimo livello col pozzetto. Se tutto l'apparecchio del Torricelli si ponga sotto il recipiente della macchina pneumatica, non estraendone l'aria, la colonna di mercurio si manterrà alla medesima altezza, non perchè la pressione della piccola colonna d'aria alta quanto la campana pareggi quella di una intera colonna atmosferica, ma perchè la forza elastica dell' aria pareggia la pressione; ma fatevi ad estrarre l'aria dal recipiente e vedrete la colonna di mercurio discendere in ragione che l'aria residua sia più rarefatta; il contrario interverrebbe se in quel recipiente l'aria si condensasse. Essendo l'acqua poco più di tredici volte e mezzo meno densa del mercurio è chiaro che facendo questa esperienza con l'acqua dovrà nella canna aversi una colonna circa tredici volte e mezzo più

alta, ed in fatti Biagio Pascal trovò la colonna di acqua alta circa 32 piedi. Per la qual cosa la pressione che l' atmosfera esercitava sulla membrana di vescica o sulla lastra della esperienza di sopra descritta, equivaleva al peso di una colonna di mercurio della stessa base ed alta 28 pollici ovvero al peso di una colonna di acqua alta 32 piedi. La superficie della terra dunque è premuta dall'atmosfera in quel modo che lo sarebbe se, tolta questa, fosse ricoperta di mercurio fino all' altezza di 28 pollici, o di acqua fino all'altezza di 32 piedi. Chi dunque scendesse nell'acqua alla profondità di 32 piedi o si tuffasse nel mercurio alla profondità di 28 pollici, starebbe sotto due pressioni atmosferiche, una per parte del liquido ed un' altra dell'aria che preme sul medesimo. Volendo poi tradurre in numeri la pressione che l' atmosfera esercita sopra una superficie data, è da sapere che una colonna di mercurio che abbia un centimetro quadrato di base e 28 pollici di altezza pesa 1,k033; onde se la membrana di vescica della quale di sopra è detto fosse stata di 10 centimetri quadrati, la pressione sopra di essa sarebbe stata di 10,k33; la quale pressione era in parte però contrariata dall' elasticità dell' aria residua che rimaneva di sotto, perocchè, come tra poco si dirà, la macchina pneumatica non può darci un vuoto d' aria assoluto.

Se la superficie del corpo umano è di circa un metro quadrato, ossia di 10,000 centimetri quadrati nè segue che esso debba sopportare la enorme pressione di oltre a diecimila chilogrammi ossia 10 tonnellate! E pure questa pressione esercitandosi dal corpo il più morbido perchè il più compressibile ed elastico quale è l' aria e trovandosi in perfetto equilibrio per lo principio di eguaglianza di pressione, non solo non ci reca alcuna molestia ma controbilanciata dalla resistenza che ad essa contrappongano le parti del corpo vivente, diventa una condizione per la esistenza della vita. Weber in questi ultimi tempi ha dimostrato come la pressione atmosferica concorra insieme con gli altri mezzi a tenere in sito le ossa nelle articolazioni. La pressione dell'aria sul nostro corpo si avverte quando è squilibrata siccome interviene nell'applicazione delle così dette coppette o ventose, nelle quali l' aria interna è rarefatta dalla fiamma, l' infermo si sente succhiare nel luogo ove è applicata la coppetta, e la carne si eleva di sotto della medesima.

Ponete un cannello aperto da ambo i capi nell'acqua ed applicata la bocca all'estremo superiore succhiate, vedrete il liquido venir su; anche questo deriva dalla pressione dell'aria esterna fatta maggiore di quella interna che voi avete rarefatta succhiando cioè mandandola in parte ne' vostri polmoni. Questo fenomeno fino ai tempi del Galilei fu spiegato col dire che la natura abborriva dal vuoto.

FIG. 62.



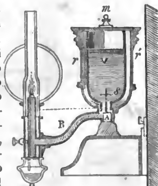
L'esperimento torricelliano che vedete rappresentato nella figura 62 ha ricevuto varie applicazioni. A (*fig.* 63) è un vaso di vetro interamente chiuso al di sopra, ed avente un becco *b* nella parte inferiore, per l'orifizio di questo, tenendo il vase inclinato, s'introduce dell'inchiostro fino a riempirlo, indi si raddrizza; la pressione dell'aria che opera nell'apertura del becco mantiene l'inchiostro elevato nel vase ad un livello superiore, ed in ragione che l'inchiostro viene abbassandosi nel becco qualche bolla d'aria montando nel vase genera un piccolo aumento di pressione e l'inchiostro ritorna al primiero livello nel becco. Se sul vase *A* si facesse un buco allora l'aria premendo egualmente sopra entrambi le superficie del liquido, l'inchiostro uscirebbe per lo becco *b* fino a che il livello non sia diventato eguale da ambo le parti. Troverete altri calamai regolati sul medesimo principio quantunque diversamente conformati. Simili al calamaio di sopra descritto sono alcuni vasi per far bere gli uccelli e specialmente i colombi.

FIG. 63.



Alcune lampade conosciute col nome di *Quinquet* mantengono per la medesima ragione l'olio ad un livello superiore a quello del becco che porta il lucignolo ch'è comunemente cilindrico e vuoto di dentro. La *fig.* 64 rappresenta la sezione verticale di una di queste lampade. *V* è il vase o recipiente che contiene l'olio, esso è capovolto in un altro recipiente *r r'*. Quando si deve mettere l'olio si tira per lo manico *m* e si raddrizza; indi per lo foro *A* si pone l'olio, poi chiudendo questo foro mercè la valvola o animella *s*, si capovolge siccome si vede espresso nella figura, l'animella, allora si apre da se perchè il filo metallico che le serve di guida urtando il fondo del vase *r r'*, l'obbliga ad alzarsi, e l'olio esce per riempire il becco *B* sino presso all'orlo con una piccola porzione del vase *rr'* che serve di pozzetto al vase

FIG. 64.



V. La pressione dell'aria esterna manterrà l'olio elevato di sopra del livello nel vase *r r'* e nel becco, ed in ragione che si consuma scenderà nel modo che si è detto in proposito del calamaio.

Spesso il vase *r r'* manca, o per meglio dire ce n'ha solo la parte inferiore con la quale si unisce a vite il vase *A*, il cui orifizio si può àprire e chiudere a piacimento mercè un piccolo manubrio esterno.

Barometro. — Il barometro è uno strumento ordinato a misurare la pressione atmosferica. Cotesta pressione si misura misurando l'altezza della colonna di mercurio computata dal livello del pozzetto nell'esperimento del Torricelli sopra esposto. Se la pressione atmosferica fosse sempre e dapertutto la stessa, una volta misurata basterebbe, ma essa patisce delle variazioni al variare de' tempi nello stesso luogo, ed al variare de' luoghi nello stesso tempo; era quindi mestieri avere uno strumento acconcio ad indicarci cosiffatte variazioni, e questo è il barometro. E facendoci a discorrere più specialmente del barometro a mercurio, lo distingueremo in due famiglie che possono denominarsi a pozzetto ed a sifone. Il barometro a pozzetto in essenza è lo stesso apparecchio torricelliano con alcune giunte che lo rendono più comodo e di maggiore precisione. Ed in prima per potere più agevolmente misurare l'altezza della colonna *Sm* (*fig.* 65) si è posta dietro del cannello una riga metallica divisa in pollici e linee, o pure in centimetri e millimetri, la quale si dice scala del barometro, il cui zero corrisponde al livello del mercurio nel pozzetto, perocchè da questo punto deve partirsi per misurare l'altezza del barometro: ma come se il mercurio discende nel cannello si eleva nel pozzetto, e per contro si abbassa di livello in questo se per aumentata pressione dell'aria debba ascendere nel cannello, così lo zero ossia il principio della scala non corrispondendo più al livello del mercurio nel pozzetto si verrebbe a misurare una colonna o maggiore o minore della vera. Questo errore si attenua facendo il pozzetto molto largo siccome si vede nella prima delle due figure segnate in margine, ma si toglie poi del tutto o col fare la scala mobile in guisa che con una vite di

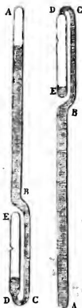
FIG. 65.



richiamo si faccia lentamente salire o scendere fino a che il suo estremo terminato a punta di avorio non vada a toccare la superficie del mercurio, siccome si è praticato nel barometro di Newman, o pure col fare mobile il fondo del pozzetto anche mercè una vite, sicchè il livello del mercurio possa salire o scendere fino a che non giunga al zero, della scala, siccome si osserva nella seconda delle due figure indicate, e così son fatti i barometri alla Fortin ed alla Robinson. Per rendere poi lo strumento portatile il pozzetto si chiude di sopra, affinchè volgendo la vite di pressione del fondo, il mercurio riempia tutto il cannello e non vada battendo per via. Il fondo superiore del pozzetto allora tiene un buco che si apre quando il barometro deve servire alle osservazioni. Ma chiuso così il pozzetto, come si vedrà quando il livello del mercurio in esso contenuto corrisponde alla origine della scala? Se il pozzetto abbia le pareti trasparenti come quello di Newman, o di Fortin dalla figura dinotato, allora attraverso delle pareti si vedrà quando il mercurio va a toccare una punta che rappresenta la origine della scala; quando il pozzetto è opaco, siccome interviene nel barometro alla Robinson, ci ha una colonnetta di avorio galleggiante sul mercurio la quale sporgendo fuori del pozzetto per un foro fatto nel fondo superiore di esso, indica con una linea segnata nella medesima quando il livello del mercurio nel pozzetto è all'origine della scala. Poichè le più grandi variazioni si restringono tra i 27 e i 29 pollici restando il barometro alla superficie della terra, così spesso trovate specialmente nel barometro a pozzetto segnate solo le divisioni nella parte superiore della scala. Essendo poi la scala divisa, siccome fu detto, in pollici e linee, ovvero in centimetri e millimetri, così volendosi misurare le frazioni di linea o di millimetro quando il mercurio non corrisponde perfettamente ad una divisione della scala, si fa uso del nonio ch'è un pezzo di metallo corsoio nel quale l'intervallo di 9 divisioni della scala è scompartito in 10 parti, sicchè dopo la prima divisione si ha la differenza di un decimo, dopo la seconda di due decimi, ec.: partendo dunque da due divisioni una della scala ed una del nonio che coincidono, potrete valutare in decimi una frazione di linea o di millimetro nella scala barometrica, quantunque con un poco di esercizio l'occhio si avvezza ad estimare le frazioni senza strumenti (1).

Se in vece del pozzetto il cannello si curvi da presentare un braccio aperto alla resistenza dell'aria, si avrà il *barometro a sifone*

(1) La descrizione del nonio si trova in molte opere, ma si risparmiano non poche parole mostrandolo agli allievi, essendo allora agevolissima cosa il farlo intendere. Ognuno può farsene un modello anche grossolano in cartone e in legno da poter servire alla dimostrazione in iscuola.

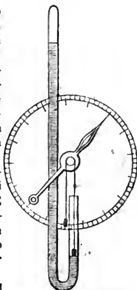


(*fig.* 66) nel quale la pressione atmosferica è misurata dalla differenza di livello tra il braccio chiuso ed il braccio aperto. Ma anche qui si affaccia lo stesso inconveniente che abbiamo di sopra notato per rispetto all'origine della scala, inconveniente che si attenua col fare il braccio aperto del sifone molto largo, e si toglie o col fare la scala mobile o col rendere le due branche del cannello perfettamente eguali, perchè allora quanto discende il mercurio da una parte tanto sale dall'altra, ed essendovi una doppia scala si potrà agevolmente misurare la differenza di livello tra il braccio chiuso ed il braccio aperto. Per rendere portatile lo strumento si pose nella curvatura del sifone una chiavetta di ferro la quale si chiude dopo di aver capovolto il barometro, sicchè tutto il mercurio sia entrato nel braccio chiuso, ma poi siccome l'olio di che doveasi ungere la chiavetta unendosi al mercurio finiva per sporcare le interne pareti del cannello, così Gey-Lussac tolse cotesta chiavetta e chiuse di sopra il braccio che prima era aperto, facendovi solo lateralmente un forellino capillare per dare passaggio all'aria (V. la figura 66); allora nel capovolgere il barometro, se per la mancanza della chiavetta qualche gocciola di mercurio dovesse cadere, questa sarà trattenuta dal fondo cieco dell'opposta branca, ed ancorchè venisse verso il forellino del quale di sopra è detto, per l'angustia di questo neppure potrebbe uscire. Al cannello si è data la configurazione che vedete (*fig.* 66) affinchè quando si sospende possa mantenersi dritto. Quando il barometro serve agli usi di mare ad evitare le oscillazioni del mercurio provenienti dalle agitazioni e da' barcollamenti della nave si suol dare alla parte inferiore del braccio chiuso un diametro molto piccolo attraverso del quale il mercurio trovando maggiore resistenza consuma più presto il moto delle sue concepite vibrazioni.

Poichè tutte le variazioni barometriche, stando alla superficie della terra, sono comprese in un paio di pollici circa della scala, siccome di sopra dicemmo, così furono immaginati molti modi per dare alla scala una estensione maggiore per poter meglio discernere e misurare delle variazioni piccolissime, quindi il barometro inclinato, i barometri composti ec. de'quali troverete le descrizioni in molte opere più o meno antiche ed anche nell'ultima edizione della fisica di Peclet (Parigi 1847). Or di tutte queste modificazioni una sola si è trovata più conducente e costituisce

il *barometro a quadrante* di Jeker. Esso è un barometro a sifone (*fig.* 67), e sul mercurio del braccio aperto porta un galleggiante d' avorio al quale è legato un filo di seta che va a passare sopra una girella mobilissima terminando in un contrappeso anche di avorio più piccolo del galleggiante: nell'asse della girella è conficcato un indice il quale girando con essa percorre le divisioni segnate sopra di un quadrante. La congegnazione dello strumento fa chiaramente intendere come la scala debba per questo modo ingrandirsi.

FIG. 67.



Più lungo è l'indice e quindi di maggiore diametro il quadrante, più grandi risulteranno le divisioni della scala. È vero che il filo per l'umido dell'ambiente può subire delle piccole variazioni in lunghezza, ma pure è da preferire il filo ad una congegnazione d'ingranaggi, per avere minore attrito.

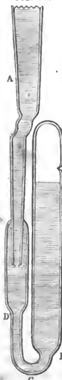
In un barometro a sifone si può il braccio aperto con apposite piegature dirigerlo per qualunque verso, nè per questo la colonna barometrica cangia di altezza, il che dimostra come la pressione dell'aria sia perfettamente la stessa per ogni verso.

Il barometro è strumento comparabile, vale a dire che due barometri ben fatti messi nelle medesime condizioni debbono segnare le medesime altezze. Ora per venire a capo di tutto questo è mestieri in prima che il mercurio sia purissimo, affinchè con la stessa temperatura abbia la stessa densità. Debbono inoltre il cannello ed il mercurio essere perfettamente purgati d'aria, perocchè altrimenti questa andandosi a raccogliere nel vuoto barometrico ch'è al sommo della colonna di mercurio vi genererebbe una pressione che farebbe segnare al barometro un'altezza minore della vera. Ecco perchè il mercurio si pone a poco a poco nel cannello e si fa successivamente bollire, ed in questa operazione è forza usare non poca diligenza perocchè il mercurio non deve bollire nè poco nè molto, perocchè se bolle poco vi rimane aria, se molto una parte si ossida e si mescola col rimanente formando un liquido diverso dal puro mercurio.

Per conoscere poi se un barometro sia ben purgato di aria s'inclina alquanto sicchè il mercurio vada ad urtare il fondo del cannello, se si ascolterà un colpo *secco* ossia simile a quello di un corpo duro che colpisce il vetro, allora è segno che il barometro

è ben purgato di aria. Ad onta di ciò per altro un poco d' aria dopo un certo tempo lentamente insinuandosi forse tra la superficie della colonna di mercurio e le parcti del cannello giunge nel vuoto barometrico ; ad impedire tutto questo Bunten ha fabbricata la parte angusta del barometro alla Gay-Lussac nel modo indicato dalla *fig.* 68, facendo cioè che la parte superiore del cannello fatta più stretta penetri nella parte inferiore alquanto più larga ; è chiaro che l'aria nel montar su deve essere trattenuta sotto la giuntura delle due parti del cannello,e può anche esserne di nuovo espulsa capovolgendo il barometro e riscaldandolo.

FIG. 68.



Il barometro a sifone così ridotto è il più comodo pe'viaggi;ma tiene un intrinseco e solo difetto il quale sta in questo che la sua variazione è indicata sulla scala per uno spazio ch'è la metà di quello che sarebbe sulla scala di un barometro ad ampio pozzetto, perocchè supponete che debba accadere una nuova variazione di una linea di differenza tra il livello del braccio chiuso e quello del braccio aperto,è chiaro dovere in questo abbassarsi di mezza linea in quello elevarsi di altrettanto per darvi la differenza di una linea.

In questi ultimi tempi si è inventato un barometro il quale perchè è senza liquido si è chiamato *aneroide :* esso consiste in una scatola metallica rotonda con una base molto solida ed un' altra più sottile, vuotata questa scatola di aria,per la pressione esterna la base sottile dovrà incurvarsi più o meno secondo la varia pressione dell'aria, allora un meccanismo farà muovere un indice sopra un quadrante secondo la varia pressione che l' atmosfera esercita sul fondo della scatola. Da qualche confronto però fatto tra le indicazioni di un barometro a mercurio e quelle di un barometro ancroide avrei ragione di non darc a questo tutta la confidenza che il primo deve meritare.

Ci ha anche un altro strumento ideato da Bunten e denominato *simpiesometro* col quale si misura eziandio la pressione atmosferica, ma siccome la sua teorica dipende dalle leggi della dilatazione de' corpi per l'azione del calorico,così verrà da noi descritto a suo tempo.

Qualunque liquido finalmente potrebbe essere adoperato per fare il barometro, ma il mercurio per la sua maggiore densità rende lo strumento più corto e quindi più maneggevole, e poi la poca volatilità del mercurio ossia la scarsa forza elastica de'suoi vapori fa che sul vuoto barometrico non venga ad esercitarsi una pressione sensibilmente alteratrice della vera altezza barometrica.

Un barometro ad acqua per altro avrebbe il pregio di dare in una scala più lunga la opportunità di osservare delle variazioni insensibili per rispetto al barometro a mercurio, è però che Daniell ne collocò uno nella sala della Società reale di Londra comparando le osservazioni con un barometro a mercurio (1), e quindi deducendo le opportune correzioni procedenti dal vapore aqueo che secondo le diverse temperature generar dovea varie depressioni nella colonna liquida.

Le scale barometriche siccome più sopra dicemmo sono divise in pollici e linee o in centimetri e millimetri, ma i barometri inglesi prendono il piede inglese e gli altri comunemente si attengono al piede parigino ch'è dell'inglese più grande; ad evitare l'incomodo delle riduzioni poniamo qui appresso una tabella la cui mercè si traduce l'altezza barometrica da una scala in un altra (2).

BAROMETRO INGLESE						BAR. FRANCESE		
poll	dec.	millim.	poll.	dec.	millim	poll.	lin.	millim.
24	0	609,59	27	4	695,95	26	0	703,82
	1	612,13		5	698,49		1	706,07
	2	614,67		6	701,03		2	708,33
	3	617,21		7	703,57		3	710,59
	4	619,75		8	706,11		4	712,84
	5	622,29		9	708,65		5	715,10
	6	624,83	28	0	711,19		6	717,36
	7	627,37		1	713,73		7	719,61
	8	629,91		2	716,27		8	721,86
	9	632,45		3	718,81		9	724,12
25	0	634,99		4	721,35		10	726,38
	1	637,53		5	723,89		11	728,63
	2	640,07		6	726,43	27	0	730,89
	3	642,61		7	728,97		1	733,15
	4	645,15		8	731,51		2	735,40
	5	647,69		9	734,05		3	737,66
	6	650,23	29	0	736,59		4	739,91
	7	652,77		1	729,13		5	742,17
	8	655,31		2	741,67		6	744,42
	9	657,85		3	744,21		7	746,68
26	0	660,39		4	746,75		8	748,94
	1	662,93		5	749,29		9	751,19
	2	665,47		6	751,83		10	753,45
	3	668,01		7	754,37		11	755,70
	4	670,55		8	756,91	28	0	757,96
	5	673,09		9	759,45		1	760,22
	6	675,63	30	0	761,99		2	762,47
	7	678,17		1	764,53		3	764,73
	8	680,71		2	767,07		4	766,98
	9	683,25		3	769,61		5	769,24
27	0	685,79		4	772,15		6	771,49
	1	688,33		5	774,69		7	773,75
	2	690,87		6	777,23		8	776,01
	3	693,41		7	779,77		9	778,26

(1) *Elements of meteorology*. t. II. *London* 1845.

(2) **Annuaire du Bureau des longitudes 1837.**

Misura delle altezze per mezzo del barometro. Se l'aria avesse una stessa densità dalla superficie della terra fino ai confini dell'atmosfera il barometro ci darebbe immediatamente e con tutta precisione l'altezza dell'atmosfera, perocchè l'altezza della colonna di mercurio starebbe all'altezza dell'atmosfera, come la densità di questa a quella del mercurio; e sapendosi che il mercurio è 10463 volte più denso dell'aria, l'atmosfera sarebbe per altrettante volte più alta della colonna barometrica. In questo caso dunque la colonna barometrica scenderebbe in proporzione dell'altezza alla quale il barometro verrebbe elevato. Ma l'aria non può avere la stessa densità a tutte le altezze, perocchè essendo compressibile ed elastica ne segue che le falde inferiori debbano essere più dense e quindi più elastiche delle falde superiori le quali essendo successivamente meno premute saranno meno dense. Ciò non di meno se la temperatura fosse uniforme in tutte le altezze, sarebbe ancora molto facile dedurre l'altezza di un luogo qualunque dall'abbassamento che soffre il barometro quivi trasportato, ma la temperatura come vedremo a suo tempo scema generalmente con le altezze, e poi la maggiore o minor copia di vapori acquei contenuti nell'aria fanno variare la densità ed elasticità della medesima, e da ultimo la gravità varia per altezze e per latitudini son cagioni che rendono il problema delle misure delle altezze per mezzo del barometro molto intrigato. Per la qual cosa sebbene Biagio Pascal fin da'suoi tempi avesse notato l'abbassamento del mercurio nello strumento del Torricelli portato sul Puy-de Dome, pure molto ci è valuto per poter giungere con sufficiente precisione a misurare le altezze mercè il barometro.

La formola comunemente accolta è quella di Laplace nella quale si suppone l'aria satura per metà di vapori, e che la temperatura varii uniformemente tra le due stazioni (1), ma dalla formola di Laplace si son ricavate delle tavole mercè le quali col semplice aiuto dell'aritmetica si può procedere alla misura delle altezze facendo uso del barometro.

Le tavole di Oltmanns che si pubblicano in ogni anno nell'almanacco dell'uffizio delle longitudini a Parigi sono reputate le più comode. Alla fine del volume ve ne darò una anche più semplice. Per procedere con regolarità in cosiffatte misure è mestieri avere due barometri ben comparati, uno si colloca nella stazione

(1) La formola di Laplace è la seguente

$$X = 18393\,(1 + 0{,}002837\,\cos^2)\pi \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right) \log \frac{H}{h},$$

in cui X è la differenza di altezza tra le due stazioni, H ed h le altezze barometriche, T e t le corrispondenti temperature e π la latitudine.

inferiore e l'altro nella superiore, e poi ad un segno convenuto due osservatori noteranno le altezze de'due barometri con le corrispondenti temperature, e con questi dati, mercè l'uso delle tavole, si conóscerà la differenza di altezza tra le due stazioni, le quali non debbono essere molto lontane, affinchè le diverse altezze barometriche non derivino da diverse condizioni atmosferiche de' due luoghi di osservazione, ed è mestieri scegliere una giornata calma e serena: per l'ora finalmente sarà più convoniente quella in cui il barometro suol segnare l'altezza media diurna, vale a diro l'ora di mezzodì (1).

Un barometro che debba esser portato a grandi altezze, so è a sifone, conviene che abbia il braccio aperto bastantemente lungo da poter accogliere il mercurio che scende dal braccio chiuso, e se fosse a pozzetto, dovrebbe per la stessa ragione avere questo di maggiore capacità, e la scala che sotto i 26 pollici in questi ultimi barometri non trovasi comunemente espressa dovrebbe esserlo quante volte il mercurio possa scendere molto per effetto dell'altezza alla quale il barometro si eleva.

Quando poi il barometro si osserva in più luoghi contemporaneamente, per conoscere come la pressione atmosferica varii nello stesso tempo al variare de' luoghi, converrebbe che tutt' i barometri ordinati per tali osservazioni fossero allo stesso livello, altrimenti le osservazioni non sarebbero comparabili. Gli osservatori perciò suppongono di trovarsi tutti al livello del mare, aggiungendo all' altezza osservata quella che il barometro acquisterebbe se dal luogo dell' osservazione venisse portato al livello del mare.

A rendere comparabili lo osservazioni barometriche bisogna anche supporle fatte alla medesima temperatura, perocchè col caldo il mercurio dilatandosi diviene meno denso o quindi dovrà con una maggiore altezza fare equilibrio alla stessa pressione, e per contro a parità di pressione atmosferica si terrà più basso se sarà più freddo. Laonde le osservazioni si suppongono fatte tutte alla temperatura della neve in liquefazione, correggendo l'altezza osservata secondo la temperatura, siccome meglio s' intenderà quando discorreremo delle leggi della dilatazione de'corpi per l'azione del calorico (2).

(1) Bessel ha introdotto nel calcolo delle altezze per mezzo del barometro anche la tensione del vapore aqueo contenuto nell'atmosfera, misurata per mezzo d' istrumenti che appresso impareremo a conoscere. V. *Schumachers Jahrbuch für* 1840 p. 39, e *l'Annuaire meteorologique de la France pour* 1856 p. 56.

(2) Il mercurio per ogni grado del termometro centigrado si dilata di $\frac{1}{5550}$ del suo volume a 0°. Sia dunque *a* l'altezza della colonna barometrica alla

Ci sarebbe a fare anche una correzione per la dilatazione che soffre la scala metallica del barometro, quantunque molto piccola (1).

Un'ultima correzione finalmente deve essere fatta all'altezza barometrica osservata, e questa deriva dalla capillarità per la quale, siccome appresso diremo, il mercurio si tiene nel cannello barometrico alquanto di sotto di quello che starebbe in un cannello molto ampio di un 30 millimetri, per esempio. Conoscendo il diametro del cannello barometrico si può conoscere la depressione generata dalla capillarità, ma spesso il difficile è appunto conoscere esattamente cotesto diametro, percui sarebbe mestieri avere un barometro campione o tipo a cannello molto grande per comparare con esso tutti gli altri, e notare per ciascuno la depressione dalla quale è affetto. Ecco intanto la tavola in cui sono segnate le depressioni pei cannelli di vario diametro (2).

Tavola delle depressioni che patisce il mercurio nel barometro per effetto della capillarità.

DIAMETRO interno IN MILLIMETRI	DEPRESSIONE in MILLIMETRI	DIAMETRO interno IN MILLIMETRI	DEPRESSIONE in MILLIMETRI
2	4,454	11	0,354
3	2,918	12	0,281
4	2,068	13	0,223
5	1,534	14	0,176
6	1,171	15	0,137
7	0,909	16	0,107
8	0,712	17	0,083
9	0,561	18	0,064
10	0,545	19	0,049
		20	0,038

temperatura t, ed a' l'altezza che aver dovrebbe alla temperatura 0°. Coteste colonne dovendo avere lo stesso peso, le altezze saranno in ragione inversa delle densità, e poichè le densità sono in ragione inversa de' volumi, così le altezze saranno come i volumi alle temperature di t e di 0°. Or prendendo il volume a 0° per unità, alla temperatura t sarà $1 + \frac{t}{5550}$, e

quindi $a : a' = 1 + \frac{t}{5550} : 1$, da cui si ricava $a' = a\left(\frac{1}{1+\frac{t}{5550}}\right)$.

(1) V. la fisica di Peclet.

(2) Ci ha in Europa de' barometri che danno l'altezza assoluta, ed un buon barometro deve essere comparato ad uno di questi per vedere se dà differenza, affinchè se ne possa tener conto nelle osservazioni di grande precisione. Cotesta differenza suol dirsi l'*equazione* di quel barometro. V. le istruzioni del Comandante Delcros inserite nell'*Annuaire de Meteorologie de la France* pour 1849, dalle quali si vede come neppure il barometro a sifone vada esente dalle correzioni di capillarità.

Il barometro a sifone le cui branche siano di uguale calibro si crede comunemente esente da cotesta correzione, perchè la capillarità operando con pari efficacia in ambo le braccia e per versi contrarî dà un risultamento nullo, ma Delcros trova una certa dissuguaglianza ne' due menischi di mercurio da cui risulta anche il bisogno di una correzione.

Sulla scala del barometro spesso si leggono le seguenti indicazioni: *secco, bello stabile, bello, variabile, pioggia o vento, gran pioggia, tempesta*, e generalmente fu creduto da prima che il barometro passando per siffatte indicazioni, dovesse avverarsi nell' atmosfera quello che da questo strumento veniva annunziato, ma poscia molti non trovando veritieri cosiffatti annunzî, giudicarono doversi abolire quelle parole segnate sulla scala del barometro, nè mancarono di coloro che impresero a difenderle. Chi disse il barometro profeta e chi testimonio de'cangiamenti atmosferici, mentre altri pensò recarsi un grave discredito al barometro destinandolo ad usi cui non è per sua natura ordinato. Riserbandoci di toccare alquanto questo argomento in meteorologia, diciamo per ora che, generalmente parlando, quando il barometro gradatamente si eleva il tempo se era piovoso accenna a diventare sereno, e per contro quando di alto che era gradatamente si abbassa, il tempo quasi sempre si dispone a pioggia o per lo meno il cielo si copre di nubi, e ciò perchè, almeno presso di noi, il barometro suole tenersi più alto co' venti di tramontana che sogliono recare serenità, e suole discendere co' venti di sud, più spesso apportatori di pioggia.

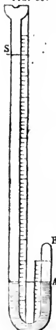
Altezza dell' atmosfera. Se il barometro si elevasse fino a che la colonna di mercurio diventasse di un millimetro, l'atmosfera fino a quel punto sarebbe alta 46627^m, 68 (1); laonde tutta l' altezza dell' atmosfera poco può oltrepassare questo limite, giacchè pare assai brobabile che abbia una superficie di livello. Ma, dirà taluno, come mai potrà l'atmosfera avere un limite, essendo l'aria dotata di una forza espansiva indefinita, e non essendovi alcun ostacolo che la ritenga? Al che noi rispondiamo esservi la gravità che deve tenere l'atmosfera intorno alla terra e doversi trovare un termine in cui la elasticità scemata sommamente per la grande rarefazione delle falde superiori dell'aria e per la bassa temperatura di quelle regioni, deve porsi in equilibrio con la gravità.

Legge di Moriotte. — Questa legge riguarda la compressibilità e la elasticità de'fluidi aeriformi: essa può enunciarsi così: *i volu-*

(1) Questo si ricava dalla formola di Laplace più sopra riferita, supponendo la temperatura di — 60 all'altezza nella quale la colonna barometrica è di 1^{mm}.

mi de'gas sono in ragion reciproca delle pressioni che soffrono ; e quindi le densità e le tensioni sono in ragion diretta delle pressioni, supponendo le temperature le stesse. Per rendere aperta siffatta legge mercè l'esperienza, si fa uso di un cannello di vetro SAB (*fig.* 69) ricurvo, con un braccio corto chiuso e diviso in parti di eguali capacità, ed un braccio molto lungo ed aperto, e questo strumento suolsi denominare *tubo* o cannello di Mariotte. Ponete dunque in questo cannello un poco di mercurio da occuparne la curvatura, e fate in modo che se col versare il mercurio si fosse spinta dell' aria nel braccio chiuso, talchè sia più densa di quella libera che trovasi nell' opposto braccio, se n'esca una parte, inclinando il cannello; allora il mercurio in ambo le branche avrà la stessa altezza di livello , il che dinota che l' aria che sta nel braccio chiuso preme tanto per elasticità sul mercurio dalla sua parte, per quanto tutta una colonna atmosferica preme sul mercurio del braccio aperto. Ora versate per questo braccio nuovo mercurio fino a che la differenza di livello diventi eguale all'altezza del barometro, ed allora vedrete l'aria contenuta nel braccio corto ridotta alla metà del volume che avea da prima: sotto una pressione doppia dunque il volume è divenuto metà , la densità è diventata doppia e doppia si è renduta anche la forza elastica, la quale ora fa equilibrio a due pressioni atmosferiche, una rappresentata dal mercurio e l'altra effettivamente dall'aria.

FIG. 69.



Nello stesso modo si procederà per tre per quattro atmosfere. Ma volendo sperimentare con pressioni molto più grandi di queste, siffatto strumento non sarebbe più acconcio, e però Arago e Dulong ne fecero eseguire uno in grande col quale verificarono la legge di Mariotte fino a 27 atmosfere (1).

Questa legge si è trovata vera per tutt' i fluidi aeriformi sopra i quali si è sperimentato, ancorchè fossero moscugli, purchè i gas mescolati non avessero affinità chimiche tra loro da dover entrare in combinazione.

La legge di cui parliamo si è verificata eziandio per pressioni minori di un'atmosfera. Ma in ogni caso conviene che l'aria sia secca e la temperatura non cangi durante l'esperienza, perocchè la forza elastica dell'aria dipende anche della temperatura.

Ma sotto una pressione infinita si avrebbero i fluidi elastici infinitamente densi? Si è osservato che cotesti fluidi sotto certe pres-

(1) V. il Pouillet, vol. I.

sioni e con certe temperature cessano di essere allo stato aeriforme e si mutano in liquidi, per cui apparisce che la legge di Mariotte deve rimaner vera fino ad un certo segno, ed il suo limite si trova anche prima che siffatto cangiamento di stato comincia ad appalesarsi. Non tutt'i fluidi aerei sonosi liquefatti, ma è da credere che sotto maggiori pressioni ed a temperature più basse anco i restii ubbidirebbero alla legge onde gli altri sono governati.

Egli è molto probabile che come ci ha un limite per la compressibilità de' fluidi aeriformi, così ce ne debba essere eziandio uno per la loro dilatabilità, ma nessuna esperienza ce lo ha finora dimostrato.

Manometri.—I manometri sono strumenti ordinati a misurare la elasticità dell'aria: ce n' ha di due generi, ad aria libera cioè e ad aria chiusa, per non dire di altre varietà meno importanti. Il manometro ad aria libera è formato da un cannello ricurvo a mo' di sifone aperto d'ambo i capi, nel quale si pone del mercurio che starà al medesimo livello in ambo le branche: or ponete che una di queste branche sia in comunicazione con un recipiente nel quale sia un fluido elastico, gas, o vapore, è chiaro che da una parte operando sul mercurio la forza elastica del gas e dall' altra la pressione atmosferica, se queste forze fossero eguali, il mercurio si terrebbe al medesimo livello; ma se la forza elastica del fluido del recipiente fosse per esempio di due atmosfere allora il mercurio scendendo nella branca che comunica col recipiente ascenderà dall'altra parte in modo da darvi una differenza di livello di circa 28 pollici o di 760^{mm}: per tre atmosfere avreste una differenza doppia di questa, e così appresso. Una scala dunque indicherà le depressioni da una parte o l'elevazioni dall'altra per avere la misura dello elasticità che si cerca. Comunemente la scala è applicata alla branca più corta che comunica col recipiente la quale è di vetro, l' opposta come più lunga essendo di ferro, e però non soggetto a rompersi (1). A togliere poi la eccessiva lunghezza che aver dovrebbero le branche del cannello qualora si dovessero misurare tensioni di parecchie atmosfere, viene usato il manometro ad aria chiusa fondato sulla legge di Mariotte.

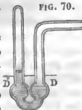


FIG. 70.

Il manometro ad aria chiusa (fig. 70) è anche formato da un cannello di vetro curvato nel modo che vedete nella figura. L'estremo che deve comunicare col recipiente è aperto, l'opposto è chiuso. Il mercurio occupa la parte inferiore del cannello nella quale sono due rigonfiamenti. Onde se l'aria

(1) Abbiamo detto di ferro e non di altro metallo, perchè il mercurio solo col ferro non si amalgama.

che sta nel braccio chiuso del manometro abbia la stessa densità e temperatura dell'aria esterna, il mercurio starà al medesimo livello in ambo le braccia. Or se il braccio aperto comunichi con un recipiente in cui il gas abbia una tensione di 10 atmosfere, il mercurio si eleverà nel braccio chiuso fino a ridurre l'aria quasi alla decima parte del suo volume, dico quasi perchè il gas non solo deve comprimer l'aria del manometro, ma deve anche sostenere la colonna di mercurio che si eleva nel braccio chiuso, quindi se il cannello fosse cilindrico, una scala divisa in 100 parti eguali farebbe conoscere la pressione cui l'aria del manometro è sottoposta, e quindi la tensione del gas o del vapore contenuto nel recipiente sarebbe eguale a quella dell'aria nel braccio chiuso più la differenza di livello del mercurio. Ma per lo più il braccio chiuso è conico perchè sia più resistente, ed allora la graduazione è più difficile; si hanno perciò delle formole per la graduazione teorica, e de' metodi per la graduazione pratica, che quando è ben fatta è forse la più sicura.

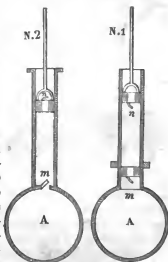
I cannelli o *tubi* di sicurezza sono maniere di manometri ad aria libera i quali non solo fanno vedere l'aumento di forza elastica del gas che si svolge in un recipiente chiuso, ma il mercurio in essi contenuto può eziandio uscire per dar passaggio al gas condensato onde non si crepi il recipiente.

Le *valvole* o animelle di sicurezza possono anche fare l'uffizio di manometri. Esse sono principalmente ordinate ad impedire lo scoppio delle caldaie a vapore. Quando la temperatura gradatamente si eleva nella caldaia, il vapore acquistando, siccome vedremo, molta forza elastica, può vincere la resistenza delle pareti della caldaia e quindi si ha lo scoppio. Ora ad impedire sì funesto accidente, supponete fatto un foro sulla parete della caldaia coperto da un turacciolo il quale pesi circa 40 chilogrammi, essendo la superficie del foro di 10 centimetri quadrati, è chiaro che il peso del turacciolo più la pressione dell'aria che opera sopra di esso rappresentano 5 atmosfere, e però il foro si terrà chiuso fino a che il vapore non acquisti una tensione di 5 atmosfere, ma se la tensione del vapore diventasse più grande, allora il turacciolo sarebbe balzato via, ed il vapore uscendo farebbe salve le pareti della caldaia, le quali suppongo poter resistere a 5 atmosfere di pressione. Onde apparisce che data la resistenza delle pareti della caldaia e la superficie del foro, si può facilmente conoscere la pressione che si deve operare sul turacciolo, ch'è la valvola o animella, per impedire lo scoppio. Trovata questa pressione, in vece di produrla con pesi posti sul turacciolo, si fa uso spesso di una leva come la seconda di quelle dinotate dalla fig. 41, nella quale collocando il peso r a varia distanza si può anche conoscere la forza elastica del vapore nella caldaia.

Talvolta invece della leva si fa uso di una molla la cui elasticità è calcolata, ed anche con queste si può avere diverse pressioni stringendo più o meno la molla. Ci ha de' casi per altro di subitaneo ed eccessivo aumento di tensione in cui le valvole di sicurezza non valgono ad impedire lo scoppio delle caldaie.

Macchina pneumatica. — La macchina pneumatica è ordinata ad estrarre o a condensare l'aria e però è o di estrazione o di compressione, e talvolta è fatta in modo da poter fare l'una e l'altra operazione. Quella che ha più comunemente questo nome è la macchina pneumatica di estrazione. Incomincerò dal farvi intendere come si possa estrarre o condensare l'aria, indicandovi le due macchine nella loro semplicità ed imperfezione primitiva, e poi dirovvi le giunte e perfezioni che hanno ricevute. Immaginate un recipiente A (fig. 71 N. 2.) il quale abbia un' apertura munita di un' animella *m* che si apre di sotto in sopra: congiunta al recipiente stia una canna cilindrica o tromba entro la quale scorra a strofinlo stretto un empolo o stantuffo forato e munito di un'altra animella *n* che si apre parimenti di sotto in sopra. Supponendo che lo stantuffo il quale trovavasi nel fondo della tromba si alzi nel modo espresso dalla figura, nascerà al di sotto di esso nella camera della tromba uno spazio vuoto d'aria, il quale non potrà essere empito dall'aria esterna che premendo sull' animella *n* la chiude, ma l'aria contenuta nel recipiente A, per la sua forza elastica, aprendo l'animella *m* passerà in parte nella camera della tromba; allora calando lo stantuffo e comprimendo quest' aria la costringerà ad uscir fuori per l'animella *n*, non potendo ritornare nel recipiente A perchè l' animella *m* si chiude. Per tal modo ad ogni colpo di stantuffo uscirà dal recipiente nuova quantità di aria, onde se la capacità della camera della tromba fosse di un decimetro cubico e quella del recipiente di nove decimetri cubici, al primo colpo di stantuffo uscirebbe la decima parte dell'aria contenuta nel recipiente, al secondo colpo, uscirebbe la decima parte del residuo e così appresso, per cui non si avrebbe teo-

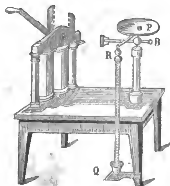
FIG. 71.



ricamente parlando, un vuoto perfetto, e tanto meno poi si può pretenderlo attese le imperfezioni pratiche per le quali una porzione dell'aria rimarrà nel recipiente.

Invertite ora l'ordine delle animelle (fig. 71 N.1.), fate cioè che si aprano di sopra in sotto ed avrete la macchina di compressione. Ed infatti quando lo stantuffo si eleva, l'animella *m* per la elasticità dell'aria contenuta nel recipiente A si chiude, e l'altra *n* si apre per la pressione dell'aria esterna; e nello scendere dello stantuffo l'aria entrata nella camera della tromba non potendo tornare indietro perchè l'animella *n* si chiude, deve aprire l'altra *m* ed entrare nel recipiente A: così ad ogni colpo di stantuffo nuova quantità di aria si caccerà nello stesso recipiente da poterla condensare per quanto si vuole, purchè le pareti del recipiente sian forti abbastanza.

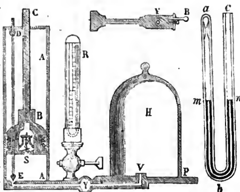
FIG. 72.



La macchina pneumatica quale oggi si usa ha due trombe (fig. 72) con le quali non solo il vuoto si fa più presto, ma essendo le aste degli stantuffi a denti che ingranano in quelli di una ruota che sta in mezzo ad esse, e nell'asse della quale si trova il manubrio, ne segue che l'aria premendo sopra entrambi gli stantuffi genera equilibrio, e la mano non deve far altro che vincere l'attrito, mentre gli stantuffi alternativamente salgono e scendono. Ciascuna tromba ha la sua animella nella parte inferiore, ed un canale comune va a terminare nel centro del piatto P sul quale si applicano a semplice contatto de' recipienti bene smerigliati agli orli, di qualunque figura. La chiavetta B serve a far rientrare l'aria quando si vuole. In un pozzetto Q essendovi del mercurio ed in esso posto verticalmente un cannello il quale con la parte superiore R comunichi col canale per cui deve passare l'aria, è chiaro che facendosi il vuoto nel cannello, il mercurio per la pressione dell'aria sul pozzetto ascenderà in modo che se il vuoto pneumatico potesse pareggiare il barometrico o torricelliano, la colonna di mercurio elevata pareggerebbe in altezza quella del barometro. Il vuoto perciò sarebbe tanto più perfetto per quanto maggiore altezza guadagnerebbe il mercurio. Questo cannello che in sostanza è una maniera di manometro suol dirsi *provino* della macchina pneumatica. Tra poco ve ne descriverò un altro ch'è più comune.

La figura 73 rappresenta una sezione verticale della macchina pneumatica nella quale si vede la comunicazione tra le trombe ed il recipiente H. E siccome quando l'aria nel recipiente è molto rarefatta, non avrebbe forza di aprire le animelle delle trombe, così vedete come queste spesso son fatte in modo che si aprono di per se col salire dello stantuffo, essendo ogni animella un cono di metallo E con un'asta che passa a strofinio stretto entro il corpo dello stantuffo, in guisa che lo stantuffo chiude il foro col calare e lo riapre col salire. In Y si pone la chiavetta V con la quale si toglie la comunicazione tra le trombe ed il recipiente quando si è fatto il vuoto, e si fa entrare l'aria quando si vuole togliendo il turacciolетто B.

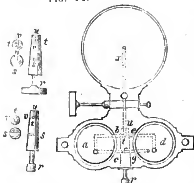
FIG. 73.



Per intendere poi come è fatto il provino che vedete collocato in in R, immaginate un barometro a sifone *a b c* a braccia eguali collocato entro un recipiente dal quale si estragga l'aria, è chiaro che il mercurio scendendo nel braccio chiuso ascenderà nel braccio aperto fino a mettersi al medesimo livello *m n* se il voto del recipiente pareggiar potesse quello del barometro, altrimenti la differenza di livello sarà tanto più piccola per quanto il vuoto sarà più perfetto. Or supponete questo barometro collocato nella campana R ed avrete il provino: se non che invece di dargli l'altezza ordinaria del barometro esso suole essere più corto, allora a' primi colpi di stantuffo non si osserva nulla, ma per veder discendere il mercurio nel braccio chiuso bisogna aspettare che l'aria siasi sufficientemente rarefatta. Il provino ha la sua scala divisa comunemente in centimetri e millimetri, per poter misurare la differenza di livello che rimane quando si fa il vuoto. Quando dunque si dice che una macchina pneumatica fa il vuoto a 1^{mm} per esempio, ciò vuol dire che il provino dà questa differenza.

La macchina pneumatica fu inventata nel 1650 da Ottone da Guerricke borgomastro di Magdemburg e poco differiva da quella dino-

FIG. 74.



tata dalla fig. 71: i recipienti e la tromba si univano a vite, Papin vi aggiunse il piatto sul quale si adattano a combaciamento i recipienti a forma di campane che sono più comodi, ed Hawksbee ridusse le trombe a due; ma una più recente modificazione ideata da Babinet ha renduta la macchina pneumatica capace di fare il vuoto fino ad un millimetro. Cotesta modificazione del Babinet è espressa dalla figura 74. Tra le due trombe e poco di sopra delle loro basi sta una chiavetta *r* con quattro fori *s*, *t*, *v*, *u*: il primo ed il secondo la penetrano da parte a parte in direzioni perpendicolari, il terzo *v* penetra la chiavetta solo per metà, ed il quarto *u* diretto secondo la lunghezza di essa comunica co' fori *t* e *v*. Nel fondo della tromba *a* trovasi un canale o meato che comincia dal foro dell'animella conica e termin in *b* e *c* nel cavo della chiavetta *r*: nel fondo dell'altra tromba *d* stan due meati, l'uno che comincia dal foro dell'animella conica e termina in *e*, e l'altro che va dal fondo della tromba fino a *g*. Quando la chiavetta è nella gracitura che vedete, è chiaro come alzando lo stantuffo *a* si debba contemporaneamente fare il vuoto sotto la campana mercè il cannello *ux*, e sotto lo stantuffo *d* mercè il canale *g s c*, e però l'equilibrio di tensione si ha tra la camera della tromba *d* e la campana; ma se la chiavetta *r* si volti per un quarto di giro allora i buchi *c* e *g* si chiudono, il meato *t* si presenta innanzi a' fori *b* ed *e*, e la macchina funziona al modo consueto.

La macchina di compressione ha ricevuto del pari due trombe ed il piatto come la macchina di estrazione, ma il recipiente deve essere premuto con traversa a vite o in qualsivoglia altra maniera, perchè altrimenti verrebbe sollevato dall'aria compressa; si suole anche circondarlo di una rete metallica, affinchè nel caso di scoppio i pezzi di vetro lanciati dalla elasticità dell'aria non offendano gli astanti. Anche la macchina di compressione ha il suo provino che è un vero manometro ad aria chiusa.

L'archibuso pneumatico è una macchina di compressione mercè la quale si possono lanciare de' proiettili alla foggia degli archibusi a polvere. S'abbia un recipiente di rame a grosse pareti della forma

di calcio di archibuso con un'animella nel suo orifizio la quale si apra di sopra in sotto, al collo di questo recipiente si adatti a vite una tromba come quella della fig. 71 N.° 1, e si condensi l'aria nel recipiente: indi tolta la tromba si ponga in sua vece la canna con un meccanismo di scatto che premendo per un istante l'animella del recipiente permetta all'aria di uscire, questa passando per la canna farà impeto sul proiettile in essa collocato, lanciandolo con forza proporzionale alla sua tensione.

LEZIONE XIII.

EQUILIBRIO DE' SOLIDI IMMERSI O GALLEGGIANTI NE' FLUIDI.

Le condizioni di equilibrio de' solidi ne' fluidi dipendono da un principio conosciuto col nome di principio di Archimede, perchè è fama che questo sommo geometra dell'antichità lo avesse scoperto mentre stava nel bagno dal quale, dicesi, uscisse ignudo gridando per le strade di Siracusa: l'ho trovato, l'ho trovato; e questo principio avrebbe guidato Archimede a scoprire quant'oro e quanto argento componevano la corona fatta pel re Gerone. Esso dunque va enunciato così: *un solido immerso in un fluido vi perde tanto di peso per quanto è il peso del fluido che sposta*, ossia per quanto è il peso di un egual volume di quel fluido. E per fermo, supponete un solido di figura cilindrica, per esempio, immerso in un liquido (fig. 75) e supponete che questo solido pesi quanto il liquido spostato, ovvero che sia della stessa densità del liquido, è chiaro che la pressione di alto in basso che soffre la base superiore *s* del cilindro è eguale al peso della colonna liquida che abbia *s* per base e per altezza l'altezza di livello: la pressione poi di basso in alto che soffre la base inferiore *i*, la quale pressione dicesi *spinta*, è eguale al peso di una colonna liquida che abbia per base *i* e per altezza l'altezza di livello; la differenza dunque tra la spinta ch'è maggiore e la pressione ch'è minore è evidentemente eguale al peso di una colonna liquida pari al volume del solido, onde se questo abbia un peso eguale al liquido spostato, la pressione diverrà eguale alla spinta ed il solido resterà in equilibrio, ed avrà così perduto tutto il suo peso che per ipotesi è eguale a quello del fluido spostato. Se poi il solido abbia un peso maggiore di quello dell'eguale volume del liquido, è chiaro che la pressione del liquido col peso del solido supereranno la spinta per l'eccesso del

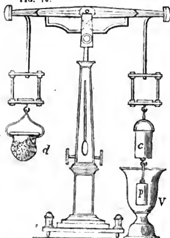
FIG. 75.



peso del solido su quello del liquido spostato; e se finalmente il solido sia men denso del liquido, la spinta superando la pressione col peso del solido, questo monterà su con una forza pari all'eccesso del peso del liquido spostato su quello del solido; onde se un solido pesi 4 libbre ed il liquido spostato ne pesi 6, il solido sarà spinto a galla con una forza di due libbre. Ecco perchè una nave galleggia maestosamente sull'acqua, ed un leggiero sassolino va a fondo.

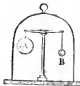
Se volete con l'esperienza riformati i risultamenti del raziocinio, prendiamo la bilancia idrostatica dinotata dalla fig. 76 la quale non è che una buona bilancia comune con le coppe più elevate sotto le quali ci ha degli uncinetti per potervi appendere de' pesi. Sotto una delle coppe dunque di cotesta bilancia sia sospeso un vase cilindrico *c* di ottone, e sotto di questo un cilindro massiccio il quale cape perfettamente nell'interno del vase *c*: dalla parte opposta della bilancia si pongano de' pesi, sicchè si abbia l' equilibrio: allora si empia di acqua il vase V appositamente collocato da prima, da far che il cilindro *p* si trovi immerso nel liquido, tosto la bilancia traboccherà dalla parte de'pesi, ma pieno il vase *c* di acqua l'equilibrio sarà ricomposto, il che chiaramente dimostra, che il peso perduto dal solido nell'acqua è eguale al peso di un egual volume dello stesso liquido.

FIG. 76.



Per la qual cosa pesando noi i corpi nell'aria, non abbiamo il vero peso, specialmente quando essi corpi abbiano poca densità. Ed in vero ponete sotto al recipiente della macchina pneumatica il così detto *baroscopio* (fig. 77) ch'è una maniera di piccola e delicata bilancia nella quale da una parte tenga sospeso un globo A di sughero p.e. e dall'altra un globetto di piombo B in equilibrio; estraendo l' aria vedete pendere la bilancia dal lato del globo A. A tutto rigore uno strumento come questo dovrebbe dare delle variazioni anche nell'aria libera per effetto della varia densità che aver debbono le falde inferiori di essa, mercè le variazioni della pressione atmosfe-

FIG. 77.



rica, nè son mancate delle indagini tendenti a sostituire in certo modo la bilancia al barometro (1), ma è difficile il mettersi al coperto di tutte le cagioni di errore.

Affinchè un solido immerso in un fluido si tenga in equibrio due condizioni sono necessarie, 1° che solido pesi quanto il fluido spostato, 2° che il centro di gravità del solido e quello del fluido spostato, che dicesi *centro della spinta*, siano nella stessa verticale. L'equilibrio sarà stabile se il primo degli anzidetti punti si trovi sotto al secondo, e sarà instabile se questo sia sotto del primo.

I pesci debbono avere un peso specifico ossia una densità quasi eguale a quella dell'acqua in cui vivono. Ce ne ha di quelli che son provveduti di una *vescica notatoria*, mercè la quale possono salire e scendere senza l'uso delle pinne o di altri organi locomotori, perocchè comprimendo un poco il gas contenuto in questa vescica vengono a crescere di densità e sono per conseguenza spinti in basso; e per contro scemando la compressione debbono venir su verso la superficie, per cui quando sono morti, il gas da se dilatandosi vengono a galla con la pancia in sopra.

I fisici hanno imitato questo modo di salire e scendere de' pesci a vescica notatoria con un'esperienza che i francesi chiamano *ludion* e noi diciamo *figura di Cartesio*. In un vase cilindrico ossia provino di vetro pieno di acqua si pone un globetto di vetro munito di un piccol foro per lo quale con un poco di arte sia fatta entrare una certa quantità di acqua. Chiuso il provino di sopra con una pelle elastica, se si preme col pollice sopra di questa, allora entrando nel globetto di vetro nuova quantità di acqua e comprimendosi l'aria, andrà a fondo, ma cessata la pressione, l' aria compressa si dilaterà cacciando via l'acqua ch'era entrata, ed il globetto tornato alla primiera condizione verrà a galla. Spesso invece di un globetto si adoperano delle figure di vetro più o meno capricciose le quali si veggono muoversi e dansare nell'acqua, e sotto questa forma l'esperienza si trova praticata anche sulla banca del cerretano.

Quando si deve scandagliare la profondità del mare conviene che lo scandaglio abbia molto peso altrimenti non toccherà il fondo, perchè la cordicella di canapa come più leggiera dell'acqua tende a venire a galla.

Un corpo che discende a grande profondità nel mare rimane sottoposto a grande pressione, per cui talvolta de'cilindri di ottone a pareti molto grosse son venuti fuori schiacciati.

Abbiam detto che quando un corpo è meno denso del fluido in cui s'immerge deve venire a galla, ma è chiaro che debba fermarsi quando tra lo sforzo che fa per cadere e la spinta che tende a sol-

(1) V. Comptes Rendus ec. 1850.

levarlo ci sia equilibrio. In questo caso il galleggiante pesa quanto il fluido che sposta ossia tutto il corpo pesa quanto un volume di quel fluido pari alla porzione immersa del corpo galleggiante. Quindi se una trave di 100k galleggi sull'acqua, questa ha dovuto spostare un volume d'acqua del peso di 100k. Se dunque misurate esattamente la porzione di una nave che rimane sotto l'acqua e sapete quando pesa l'unità di volume di questo liquido, voi conoscerete il peso di tutta la nave. La ragione di tutto questo è di per se manifesta, perocchè se il galleggiante col suo peso fa equilibrio con la spinta, e tolto il galleggiante il fluido spostato riprendendo il suo luogo ricompone l'equilibrio, è chiaro, che questo liquido ed il solido debbano avere lo stesso peso. Se si vuole con esperienza assicurarsi di questa verità, si prenda un vase con entro un liquido p. e. acqua, e vi si ponga un solido che galleggi e si noti fin dove il livello del liquido si eleva, indi si pesi, poi tolto il solido si ponga tant'acqua da portare il livello fin dove giungeva col solido e si ripesi, si troverà questo secondo peso eguale al primo.

Per l'equilibrio di un galleggiante non solo è mestieri che sposti tanto fluido da eguagliare il suo peso, ma conviene che il centro di gravità del solido ed il centro della spinta stiano nella stessa verticale, quantunque per l'equilibrio stabile non sia necessario che il centro di gravità sia sotto quello della spinta, purchè entrambi si trovino sotto di un terzo punto che in architettura navale ha il nome di *metacentro* (1).

Il nuoto che negli animali è istinto nell'uomo è arte, ma segue da ciò ch'egli sia più pesante dell'acqua? Alcuni lo affermano, ma non so se lo abbiano sperimentato. Quello che so per prova è che quando vi coricate supino sull'acqua voi restate a galla, ma come è ben naturale, con la massima parte del corpo immersa, per cui tra le altre cose vi reca molestia l'acqua che vi entra negli orecchi e le onde che vi vanno sulla faccia, per cui naturalmente cercate di alzare il capo, allora viene una certa spinta per la quale andate a fondo per rivenire di nuovo a galla, ed in questi ballottamenti appunto avviene che l'uomo si annega.

Dalle cose dette s'intende come un medesimo solido galleggiante in diversi liquidi debba immergersi per una parte più o meno grande secondo che minore o maggiore sia la densità del liquido, ossia che le porzioni immerse debbono essere in ragion reciproca delle densità de' liquidi. S'intende perchè la nave carica deve stare più immersa di quanto è scarica, perchè il ferro che va a fondo nell'acqua galleggia sul mercurio ec.

Aerostati. — Gli aerostati o palloni volanti sono un' applicazione

(1) V. i supplementi alla mia versione del Pouillet.

semplicissima del principio di Archimede di sopra esposto. Il desiderio dell'uomo di elevarsi a volo per le vie dell'aria par che sia stato molto antico, e la favola ce lo ha adombrato co'miti di Dedalo e di Icaro. Archita il celebre geometra della scuola di Pittagora, secondo narra Aulo Gellio (1), avrebbe fatta una colomba meccanica che da se sola elevavasi a volo. A quando a quando ne'secoli posteriori si trova fatta menzione di qualche somigliante trovato che si attribuisce a Boezio Annicio Severino (2), al monaco Ruggero Bacone (3) e ad altri; ma verso il 1640 Giovan Battista Dante matematico di Perugia par che avesse effettivamente volato con ali posticce, spiccando il volo dalla sommità di una torre, il che mosse probabilmente Leonardo da Vinci a versarsi teoricamente intorno al medesimo argomento. Ma molto dovremmo allargarci in parole se tutti volessimo ricordare gli sforzi che in varì tempi furon fatti per emulare il volo degli uccelli: inviando gli studiosi alla storia dell'aeronautica (4) diciamo come il P. Francesco Lana da Brescia nel 1684 (5) pensasse di far salire una nave in aria renduta di questa specificamente più leggiera, applicandovi de'globi di rame sottilissimi e vuoti d'aria, e nel 1781 secondo narra un testimone oculare, il naturalista Broussonet, il nostro Tiberio Cavallo innalzava effettivamente in Londra un piccolo globo di 4 piedi di diametro pieno di gas idrogeno. Ma a'5 di giugno del 1783 Stefano e Giuseppe Mongolfier fabbricanti di carta in Annonay e conoscitori di fisica, offrirono lo spettacolo di un grosso globo aerostatico ad aria rarefatta che si elevò all'altezza di circa 6000 piedi in presenza di numerosi spettatori, per cui sono questi Fratelli Montgolfier tenuti come gl' inventori de' globi aerostatici.

Dalle cose dette s' intende che per rendere un corpo più leggiero dell' aria che ci circonda, due mezzi generalmente si offrono, o di riempire un globo di aria rarefatta o di un gas che sia più leggiero dell'aria, quindi i palloni alla Montgolfier ed i palloni a gas idrogeno, anticamente detto aria infiammabile.

Fate un globo di carta con un orifizio alla parte inferiore alquanto largo, ed appendete all'orlo di questo un paniere di fili metallici pieno di un combustibile leggiero come per esempio bambagia, lana, con olio ed acquavite. Acceso il combustibile l'aria inter-

(1) *Noctes Acticae* lib. X, cap. 12.

(2) *Diction. des Inventions et Decouvertes* art. *Automate.*

(3) *Epist. de operibus secretis Artis et Naturae atque nullitate Magiae*. V. Francesco Bacone a Verulamio: *Sylva Sylvarum* cent. 8.

(4) V. l'operetta intitolata cenni storici sull'Aeronautica ec. Firenze 1838.

(5) *Magisterium Naturae et Artis* ec. Brescia 1584.

na del pallone riscaldandosi si dilata e lo gonfia, e però questo diviene più leggiero dell'aria esterna e quindi ascenderà fino a che non trova aria di peso specifico eguale al suo.

Il pallone a gas idrogene poi deve essere di stoffa di seta verniciata per renderlo impermeabile: dopo di averlo bene afflosciato si empie di gas il quale perchè più leggiero dell'aria farà ascendere il pallone. Questo gas comunemente si ottiene mescolando acqua, acido solforico e limatura di ferro o di zinco.

Col pallone a gas idrogeno l'uomo tentò la prima volta le vie dell'aria. Charles e Robert sia che sapessero sia che ignorassero il fatto di Tiberio Cavallo che riferimmo di sopra, apparecchiato un grosso pallone a gas idrogeno, il 27 agosto 1783 si elevarono a volo in presenza di una moltitudine di attoniti spettatori. Più tardi molti dotti impresero de'voli con lo intendimento di fare delle investigazioni scientifiche, il primo de'quali fu tentato nel 1803 da Gay-Lussac e Biot, che fu poi seguito dall'altro famoso di Gay-Lussac solo che nel 1804 si elevò all'altezza di 7016 metri (1): anche il nostro Brioschi fece un ascensione a grande altezza, ma non pare ben sicuro se superasse quella cui pervenne Gay-Lussac.

Quando il pallone deve elevare una o più persone, conviene prima di tutto che abbia una forza ascensionale bastante, la quale è espressa dalla differenza tra il peso di un volume d'aria eguale a quello del pallone ed il peso di questo. Tutto il pallone allora è inviluppato in una rete di lacci di seta, a' capi della quale si sospende di sotto del pallone una gabbia solida e leggiera in cui si pone l'areonauta co'suoi strumenti e con alcuni sacchetti di arena per zavorra, i quali vuotati a poco a poco si può salire a maggiore altezza. Volendo discendere poi si apre un' animella per la quale l'idrogeno se n'esce ed il pallone scemando di volume discende. Ma quando è finita la zavorra, l'areonauta può discendere ma non più risalire. Il pallone non deve gonfiarsi mai interamente a terra perchè salendo si gonfierà da se solo per la minore pressione che soffre; al contrario partendo ben gonfio da terra va soggetto a creparsi in alto, come tante volte sventuratamente è avvenuto.

Gli ultimi due voli scientifici sono stati fatti nel mese di giugno dello scorso anno 1850 da Bixio e Barral in Francia: le loro osservazioni verranno da noi esposte ne' luoghi opportuni.

Il pallone salendo resta in balia de'venti che ad una certa altezza non mancano quasi mai di soffiare con più o meno di forza; quindi il pensiere di dare la direzione a' globi aereostatici e di creare veramente l'aeronautica. Non la finirei se volessi qui venirvi raccon-

(1) Il barometro segnava nel punto di massima elevazione 428mm, nell'atto che al suolo nel momento della partenza segnava 765mm.

tando le cento e mille specolazioni teoriche non che i vari tentativi fatti per venire a capo della soluzione di così famigerato problema. Si variò in mille guise la forma dell'aereostata, si usarono ali e remi, si proposero razzi e vele, ruote ad ali mosse dal vapore ec., ma finora tutto fu invano, ed io mi penso che il pallone non potrà mai avere una direzione finchè l'uomo pretende di elevarsi col benefizio della poca densità, perocchè in questo modo per quanto riesce facile di elevarsi per tanto difficile esser deve il dirigersi.

La immensa superficie che aver deve il pallone farà sì che le più deboli correnti facciano tale impeto sopra di questa da rendere di poco o nessun effetto le ali, i remi, o qualsiasi altro mezzo che si adoperi per volare. Gli uccelli sono più pesanti dell'aria: essi duran fatica ad elevarsi, nè lo possono verticalmente, ma volano. La Provvidenza ha risoluto per essi un altro problema, dando a' medesimi una moderata densità, e due grandi ali mosse da molta forza rinchiusa in piccolo volume. Noi non sapremo dire se l'uomo giungerà a volare, ma siamo convinti che fino a tanto che troppo facilmente vorrà elevarsi, difficilmente giungerà ad imitare il volo degli uccelli.

In alcuni voli da spettacolo finalmente si è abbandonato il pallone, e la gabbia o navicella è discesa lentamente per effetto del così detto *paracaduta*, maniera di largo ombrello che resta sopra la gabbia e che per la resistenza dell'aria vale a ritardarne il moto nella discesa.

LEZIONE XIV.

DE' LIQUIDI IN MOTO. IDRODINAMICA.

Condizioni dello scolo de' liquidi. Le pareti di un vase che contiene un liquido vanno sottoposte a due pressioni, l'una di dentro in fuori, l'altra di fuori in dentro. La prima ne' vasi aperti risulta generalmente dalla pressione del liquido e dalla pressione atmosferica che opera sul liquido, e ne' vasi ermeticamente chiusi deriva o dalla sola pressione del liquido o da questa insieme con la tensione dell'aria che potesse trovarsi sopra del liquido se il vase non sia perfettamente pieno. La seconda poi generalmente parlando è la pressione atmosferica. Ma siano quali si vogliano coteste due pressioni è chiaro che fatto un foro angusto in una parete sottile, una sola condizione si richiede perchè il liquido sgorghi per questo foro, ed è che *la interna pressione vinca l'esterna*, la quale condizione

si avvera sempre ne' vasi aperti ne' quali il liquido riceve la pressione dell'aria, perocchè la pressione interna risulta allora dalla pressione atmosferica unita a quella del liquido, e la esterna dalla sola pressione atmosferica; ma ne'vasi chiusi non sempre la pressione interna vince l'esterna, e però forate un vase pieno di mercurio interamente chiuso, il liquido uscirà solo se la superficie di livello stia ad un'altezza maggiore di 28 pollici, altrimenti non potrà sgorgare: per l'acqua ci vorrebbe un'altezza di 32 piedi ec. La tromba del cantiniere rappresentata dalla figura 78 è molto acconcia a rendervi aperta questa verità. Essa è un vase di vetro B a lungo collo con un piccolo foro C nella parte inferiore. S'introduca questo strumento in un liquido, è chiaro che il medesimo entrerà pel foro C e si metterà a livello col liquido esterno: allora si chiuda l'orifizio A col pollice e si alzi lo strumento fuori del liquido, questo non uscirà punto per lo foro C, ma come si alza il pollice che chiudeva l'orifizio A, tosto si vedrà sgorgare per lo foro anzidetto: chiudendo di nuovo l'orifizio A il liquido si arresta, e nuovamente scorrerà col riaprirlo. Nel chiudere l'orifizio A resta l'aria che con la sua forza elastica pari ad una pressione atmosferica unitamente alla pressione del liquido debbon vincere la pressione dell'aria, e però tosto che l'orifizio A si chiude si vede il liquido sgorgare ancora, ma coll'uscire del liquido, l'aria interna in B si dilata e perde di tensione per cui giunge tosto un momento in cui la tensione residua dell'aria interna insieme con la pressione del liquido fanno equilibrio alla pressione atmosferica, e lo scolo si arresta. Se il foro C fosse molto ampio allora l'aria ed il liquido si dividerebbero lo spazio, ed il liquido uscirebbe in modo discontinuo facendo con l'aria quel rumore che si denomina glo glo: allora un disco di carta basterebbe applicato sull'orlo del foro anzidetto ad impedire lo scolo.

FIG. 78.



Or supposte le condizioni di scolo, si domanda la velocità con la quale un liquido sgorga da un foro angusto fatto in pareti sottili. Cotesta velocità fu teoricamente determinata dal Torricelli, il quale dimostrò che un liquido uscir deve da un foro con quella *velocità che acquistato avrebbe cadendo nel vuoto da un'altezza eguale all'altezza di livello, computata dal centro del foro.* Ricordatevi di aver noi nella lezione VII dimostrato, che la velocità che acquista un corpo cadendo da un'altezza data si ottiene estraendo la radice quadrata dal doppio di quest'altezza moltiplicato pel valore della gra-

vità, per cui potete agevolmente determinare la velocità di scolo data dal teorema di Torricelli. Ma i fisici senza porre in dubbio i risultamenti del raziocinio sorretto dalle matematiche, hanno avuto ragione di ricorrere all'esperienza per vedere se il fatto fosse d'accordo con la ragione, non perchè possa esservi repugnanza, ma perchè spesso possono in natura operare più cagioni di quelle che si era supposto dovessero intervenire. Si ebbe dunque da prima bisogno di rendere per un certo tempo costante la velocità di scolo, perocchè fino a quando essa varia continuamente è impossibile il misurarla, e per avere la velocità costante è chiaro doversi avere costante pressione, ossia la stessa altezza di livello, perocchè ognuno intende che il liquido continuamente sgorgando, la superficie di livello continuamente si abbassa e la velocità di scolo diminuisce. Per avere dunque una velocità costante ci sono tre mezzi adoperati da'fisici. Il più semplice di tutti consiste in un vase con fori o risciacquatoi ad una certa altezza e poco al di sopra di questi una lamina forata sulla quale continuamente si versa acqua da un vase superiore: il vase si terrà sempre pieno mentre il liquido sgorga da un foro inferiore, perchè continuamente giunge altro liquido da sopra il quale non preme con la caduta giacchè cade sulla lamina forata. Il livello per contro non può elevarsi perchè l'acqua superflua pe' risciacquatoi continuamente ribocca. Vi dirò dopo quali sono gli altri due vasi co' quali si consegue il medesimo scopo, gioviamoci per ora di questo che i francesi chiamano *tro-pleine* e che io ho denominato *vase a ribocco*, per vedere come si possa verificare il teorema di Torricelli. Preparato il vase pieno di acqua, aprite il foro inferiore e dopo un minuto primo chiudetelo. Se la vena liquida avesse potuto rappigliarsi e divenir solida nell'uscire, è chiaro che la sua lunghezza sarebbe la misura della velocità di scolo in un minuto di tempo, ma non potendo direttamente misurare siffatta lunghezza, ci sarà facile trovarla misurando il volume d'acqua uscito in un minuto e dividendo questo volume per la superficie del foro, perocchè la vena fluida deve reputarsi un cilindro o un prisma, secondo che il foro sia un cerchio o una figura rettilinea, e quindi dividendone il volume per la base si ha l'altezza, che nel caso nostro è la lunghezza cercata.

Trovata dunque la lunghezza della vena fluida, ossia la velocità per un minuto primo, la sessantesima parte di questa sarà la velocità per un minuto secondo; or comparate questa velocità effettiva all'altra teorica che si ottiene còl teorema di Torricelli e troverete la prima cioè la effettiva eguale presso a poco a' $\frac{2}{3}$ della teorica. Ma questo errore di un terzo essendo quasi costante, noi possiamo gio-

varci del teorema di Torricelli nella misura delle velocità di scolo togliendo un terzo da'risultamenti ottenuti.

Ma donde deriva siffatta discordanza tra la velocità teorica e la velocità effettiva? La vena fluida nell'uscire si contrae, sia perchè le molecole di mezzo corrono più veloci di quelle che radon gli orli del foro, sia perchè le molecole acquistano una certa convergenza in vicinanza del foro, convergenza dimostrata dal *gorgo* ossia da quella maniera d'imbuto che si forma nel liquido sopra del foro quando la superficie di livello si è sufficientemente approssimata al medesimo, e prendendo la sezione della vena contratta nel massimo suo restringimento si trova appunto eguale a' $\frac{2}{3}$ circa della superficie del foro, onde se si considerasse il foro pari alla sezione della vena contratta, la velocità teorica sarebbe eguale alla effettiva.

Comunque sia di ciò, trovata la velocità di scolo si trova la quantità di liquido che esce in un dato tempo o come dicesi la *portata* del foro, moltiplicando la velocità di scolo per la superficie di esso foro, supponendo sempre la velocità costante.

Quando i fori sono ampî non più si applica a cappello la regola data, perocchè il liquido allora esce parte pel proprio peso e parte per la pressione del liquido soprastante, nè ci ha compensazione perfetta tra la maggiore velocità che aver debbono le molecole che sono di sotto del centro del foro con la minore che aver debbono quelle che sono di sopra, giacchè per le cose dette segue, che le velocità di scolo debbono essere come le radici quadrate delle altezze di livello, per cui quel foro che stesse ad una distanza quadrupla dalla superficie di livello darebbe una velocità doppia.

Dal detto finora viene per legittima conseguenza, che l'acqua ed il mercurio per esempio dovranno uscire con pari velocità se i fori siano ad eguali distanze dalle respettive superficie di livello, perocchè sebbene il mercurio prema sul foro quasi quattordici volte più dell'acqua, pure esso deve spingere fuori una vena fluida che pesa parimenti quasi quattordici volte più di quella di acqua, supponendole di egual diametro, per cui essendo le pressioni come le masse le velocità saranno eguali.

Mentre il liquido sgorga da un foro, la superficie di livello si abbassa, ma è chiaro che se il vase è cilindrico, in tempi eguali la superficie percorre altezze dissuguali, e col calcolo si trova il modo come si dovrebbe dividere l'altezza di un vase cilindrico per farne una clepsidra o orologio ad acqua. Insegnano i matematici qual figura aver dovrebbe un vase affinchè la superficie di livello percorresse altezze eguali in tempi eguali.

La vena fluida per le cose dette altrove deve assumere la curva de' proiettili, e però si avrà la parabola di ampiezza massima con la inclinazione della cannella a 45° all' orizzonte.

Abbiamo poi supposto i fori fatti in pareti sottili perchè altrimenti si avrebbe nella grossezza della parete una maniera di cannella.

Or quando a' fori sono applicate le cannelle si ha spesso un perturbamento che deriva dall' attrito o dalle azioni molecolari (1).

Vi ho detto di sopra esservi tre mezzi per avere costante per un certo tempo la velocità di scolo, e ve n'ho indicato uno nel vase a ribocco, ora vi dico, gli altri due essere il galleggiante di Prony ed il vase di Mariotte; vi descriverò quest' ultimo potendo leggere se vi piace la descrizione dell' altro nella fisica del Pouillet ed in molte altre opere.

Il vase di Mariotte è rappresentato dalla figura 79; ivi (N. 1.) Vedete un vase interamente chiuso, avente solo due orifizi A e B posti a diverse altezze. Se A fosse chiuso e *B* solo aperto, l'acqua o qualunque altro liquido in esso vase contenuto non potrebbe uscire, supponendo il vase non molto alto, secondo fu detto di sopra.

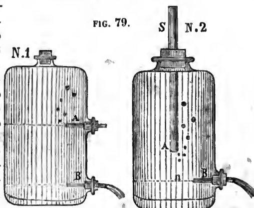


FIG. 79.

Ma aprendo anche il foro A allora la pressione atmosferica farà che la interna pressione vinca l'esterna per effetto della differenza di livello tra A e B, la quale differenza di pressione rimanendo la stessa fino a che la superficie di livello non discende sotto di A, la velocità di scolo sarà costante. Come il liquido si abbassa si forma un vuoto sul vase e l'aria a quando a quando si vede entrare per l'orifizio A, attraversando l'acqua sotto forma di bolle.

La forma rappresentata appresso (N. 2) è anche più comoda perchè invece dell'orifizio superiore ci ha un cannello il quale può al-

(1) V. il Pouillet.

zarsi o abbassarsi da render varia la distanza An e quindi la velocità di scolo.

Potendo dare alle cannelle qualunque direzione altrettante direzioni prender deve la vena fluida: quando essa è verticale o inclinata sopra la direzione orizzontale, allora si denomina *zampillo*, e l'altezza cui lo zampillo dovrebbe pervenire dovrebbe essere eguale a quella del livello della conserva, ma l'attrito è la resistenza dell'aria, e nel caso di zampilli verticali anche la caduta delle gocciole impediscono allo zampillo di giungere all'altezza che teoricamente gli converrebbe. Per la qual cosa Mariotte da molte sperienze ricavò la regola seguente per conoscere l'altezza di livello del serbatoio data quella dello zampillo: All'altezza dello zampillo misurata in piedi si aggiunga in pollici il quadrato della quinta parte di essa altezza, e si avrà quella della conserva: così per esempio se uno zampillo fosse alto 100 piedi, il livello della conserva dovrebbe stare all'altezza di 100 piedi più 400 pollici, essendo 400 il quadrato di 20 ch'è la quinta parte di 100.

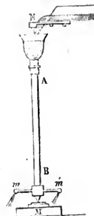
Sulla forma della vena fluida non che intorno a'fenomeni che presenta urtando un corpo solido o un altra vena fluida, Savart ha fatto studi speciali, ma voi potrete leggerne un copioso sunto nella fisica del Pouillet, ove potrete anche vedere la regola del Bernuilli per valutare le pressioni laterali de' liquidi in moto.

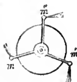
Quando un liquido si muove per canali di varia grandezza, cioè tali che le parti di eguali lunghezze non abbiano eguali capacità, naturalmente interviene che dovendo per le loro diverse sezioni passare la stessa quantità di liquido nello stesso tempo, la velocità sarà maggiore nelle sezioni più anguste e minore nelle più ampie, e però in un canale conico, per esempio, la velocità andrà crescendo se il liquido si muove dalla base verso del vertice, e per contro andrà scemando se terrà l'opposto cammino; quindi vedete le acque de'fiumi correre più veloci dove il letto si stringe e non farsi depositi in tempo di piene, ma più spesso corrosioni; ed in vece andarne più lente ove l'alveo è più aperto, ed ivi rimanere le piene i ciottoli più grossi, se pur la inclinazione dell'alveo non fosse molto considerevole.

Il liquido finalmente che esce d'un vase sia per un foro sia per una cannella al medesimo applicata, mentre si spinge fuori con una velocità che dipende dalla carica, non può non respingere il vase indietro, onde questo si muoverebbe per opposta direzione se alcun ostacolo non lo trattenesse. È questa forza di *riazione* o di respingimento, comune a'liquidi ed a'gas, che fa rinculare il cannone dopo lo scoppio e che fa ascendere in alto i razzi che si lavorano nella pirotecnica festiva o militare. Per rendere aperta l'esistenza di que-

sta forza di rinculamento nello scolo de' liquidi, immaginate una canna verticale AB (fig. 80) mobile intorno del suo asse, ed avente nella parte inferiore due, tre o anche un maggior numero di cannelli orizzontali m, m', m'' ciascuno bucato da un foro in direzione orizzontale e perpendicolare alla loro direzione. Se la canna AB si tenga continuamente piena d' acqua, questa nell' uscire pe' fori anzidetti genererà un moto di rotazione de'cannelli e della canna intorno dell' asse NM, per verso contrario a quello del moto del liquido. In questo modo è formata la ruota idraulica che i Francesi chiamano *tourbine*.

FIG. 80.





Questo moto di rotazione che si ha con lo scorrere de' liquidi si può avere eziandio dal moto di fluidi aeriformi.

Un liquido in moto può rappresentare una forza motrice per animare mulini, filande, seghe meccaniche o qualsivoglia altra maniera di macchine. La potenza dinamica di una vena d' acqua che uscendo da una doccia urta le ali di una ruota per porre in moto una macchina, si esprime col prodotto del peso dell'acqua che scorre nell'unità di tempo, per l'altezza della caduta ; per cui al massimo quest'acqua cadendo potrebbe nello stesso tempo innalzare alla stessa altezza un egual peso, ma in realtà poi si ha sempre meno di effetto utile, perocchè senza tener conto delle resistenze, l'acqua dopo l'urto deve serbare ancora un residuo di velocità con cui se ne scorre, e di più essendo le superficie sulle quali l'urto fa impeto, messe in moto, sono colpite con la differenza delle due velocità, onde senza pretendere di poter mai ottenere quel massimo ch'è puramente ideale, quella macchina sarà migliore che vi darà meno perdite.

Sifone. Descriveremo alcuni strumenti la cui mercè si fanno salire i liquidi con l'aiuto della pressione dell'aria, e comineeremo dal sifone. Esso è un cannello ricurvo (*fig*. 81) con un braccio più lungo dell'altro, ed è ordinato a far passare un

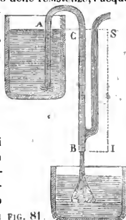
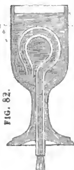


FIG. 81.

liquido da un livello superiore ad un altro inferiore , elevandolo prima sul più alto livello. Il braccio più corto del sifone si pone nel liquido che si vuol travasare, indi applicando la bocca all'estremo del braccio lungo si aspira l'aria ; il liquido si vedrà ascendere fino al sommo della curvatura indi discendere e, tolta la bocca, si vedrà sgorgare per l'estremo del braccio lungo fino a che il braccio corto rimane immerso nel liquido del vase. In vece di aspirare l'aria dall'estremo del braccio lungo suolsi a questo aggiungere una maniera di pipetta all'estremo della quale si applica la bocca affinchè non solo l'aspirazione dell'aria si faccia più comodamente, ma nel caso di liquidi nocivi come acidi p. e., non giungano alle labbra di chi fa l'operazione. Aspirando l'aria in questo modo bisogna chiudere frattanto l'estremo del braccio lungo. La ragione di questo fenomeno è molto semplice. Aspirando l'aria il liquido deve riempire il sifone per effetto della pressione atmosferica , secondo fu detto di sopra. Che il liquido poi debba continuamente sgorgare s'intende ponendo mente alle pressioni; perocchè la pressione che opera in *B* è una pressione atmosferica la quale si opporrebbe allo scolo , mentre una pressione atmosferica in *A* lo favorisce unitamente alla pressione della colonna liquida *C B*. Per la qual cosa la pressione di dentro in fuori essendo in eccesso, si deve avere lo scolo con una velocità che dipende dalla differenza *B C*. Quando s' avesse a fare uso di un sifone molto grande sarebbe impossibile aspirare l'aria con la bocca, allora, non volendo ricorrere alle trombe, si può empire il sifone di acqua per un foro fatto nel sommo della sua curvatura tenendone intanto chiusi gli estremi : quando il sifone è pieno di acqua, il foro superiore si chiude, gli estremi si aprono, ed il liquido scorrerà.

Dalle cose dette s' intende che se il braccio esterno del sifone arrivasse in *C* allo stesso livello del liquido, questo resterebbe senza potere uscire , e se questo braccio fosse ancora più corto il liquido venendo fino all'orlo, dopo l'aspirazione sarebbe respinto nel vase.

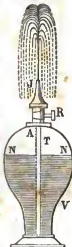

FIG. 82.

Coppa di Tantalo. Immaginate un sifone (*fig.*82) collocato in un vase in modo che il braccio lungo ne attraversi il fondo, è chiaro che quando il livello del liquido sorpasserà la curvatura del sifone, questo farà uscire tutto il liquido del vase.

Fontana di compressione. S'abbia un recipiente *V* di vetro a grosse pareti, ovvero di rame con entro acqua fino alla metà o a' $\frac{2}{3}$: un cannello *T* penetri fin presso al fondo del vase : tolto il becco *J* si ponga in sua vece

una tromba di compressione, e con parecchi colpi di stantuffo si comprima l'aria sopra di *N N*, perocchè entrando pel cannello attraverserà l'acqua ed andrà tutta a raccogliersi nello spazio che rimane sopra di questa. Allora chiusa la chiavetta *R*, si tolga la tromba e si rimetta il becco *J*, e poi si apra la chiavetta, si vedrà un magnifico zampillo venir fuori con impèto proporzionale alla tensione dell'aria interna della fontana (*fig.*83). Se l'aria fosse compressa in modo da esser due volte più densa dell'aria esterna, essa avrebbe una forza elastica pari a due pressioni atmosferiche, e però la pressione interna vincerebbe l' esterna per una pressione atmosferica, ossia darebbe uno zampillo alto poco meno di 32 piedi. Come l'acqua esce l'aria interna si dilata e quindi scema di tensione, per cui lo zampillo gradatamente si verrà abbassando.

FIG. 83.



Fontana di Erone. Per intendere meglio come opera questo strumento che si crede inventato da Erone alessandrino, rappresentiamocelo prima nella forma più semplice dinotata dalla figura 84. Sia dunque un cannello di vetro ricurvo con un imbuto *A*, e due recipienti *B* e *C*. Ponete prima dell'acqua nel globo *C* e poi versate altra acqua per l' imbuto *A*. Questa per empire il cannello ed il globo *B* deve spingere innanzi l' aria che in essi si conteneva la quale condensata tra *B* e *C* premerà sull'acqua del globo *C* e la farà zampillare per lo becco *d*.

FIG. 85.

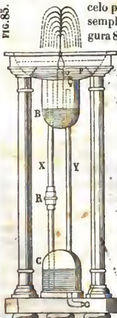
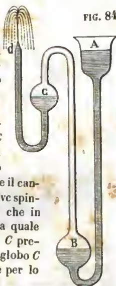


FIG. 84.

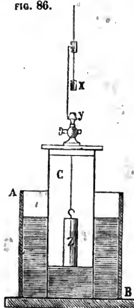


La forma che più comunemente si suol dare alla fontana di Erone è dinotata dalla figura 85. Ci ha due recipienti *B* e *C*. Il primo ha un cannello col becco come nella fontana di compressione. Ci ha poi un cannello *XR* che parte dal-

l'esterno del recipiente *B*, lo penetra senza comunicar col medesimo e va a terminare presso al fondo del recipiente *C*. Un altro cannello *Y* comincia dalla parte di sopra del recipiente *C* e termina sul livello dell'acqua che si pone nel vase *B*. Facendo scendere per lo cannello *XR* dell'acqua nel recipiente *C*, l'aria in questo contenuta sarà espulsa per lo cannello *Y* ed andrà ad addensarsi nel recipiente *B*, ove premendo sull'acqua nel medesimo contenuta la farà zampillare.

Lucerna, o accendilume a gas idrogeno. Si sa dalla chimica che ponendo lo zinco nell'acido solforico allungato con acqua si ha svolgimento di gas idrogeno, che una corrente di questo gas arroventa il platino a spugna, e finalmente che l'idrogeno in contatto di questo corpo rovente si accende nell'aria, ardendo con fiamma. Ciò premesso descriviamo l'accendilume a gas idrogeno per fare intendere il principio idrodinamico da cui è governato. *AB* (*fig.* 86) è un vase con entro acido solforico allungato con acqua, dentro di questo ne sta un altro *C* aperto nella parte inferiore e chiuso di sopra mercè una chiavetta; in questo sta un cilindro *Z* di zinco. Aprendosi la chiavetta il liquido si metterà allo stesso livello in ambo i vasi, e però lo zinco trovandosi immerso nell'acqua acidolata, si svolgerà il gas idrogeno e ne uscirà per lo becco *y*; la corrente di gas idrogeno incontra la spugna di platino collocata in *X*, l'arroventa e si accende. Chiudete ora la chiavetta, il gas che continua a svolgersi si addensa nel vase *C*, preme sul liquido in esso contenuto, ne abassa il livello facendolo elevare nell'altro vase *AB*: per tal modo lo zinco si troverà fuori del liquido e lo svolgimento dell'idrogeno finisce, tenendone pieno il vase *C* da poter servire nelle occorrenze. Quando dunque si riaprirà la chiavetta si avrà una vigorosa corrente d'idrogeno, il livello interno del liquido si eleverà di nuovo e quindi lo zinco si troverà nuovamente nell'acido diluto per porgere nuova quantità d'idrogeno. Il bisogno di rinnovare a quando a quando lo zinco perchè si consuma trasformandosi in solfato, di rifondere nuovo acido ed acqua, e finalmente il perdere spesse volte la spugna di platino quella sua maravi-

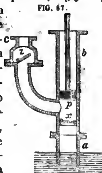
FIG. 86.



gliosa virtù di arroventarsi soffiata dall'idrogeno, furon cagioni per le quali l'economia domestica non ha potuto profittar molto di cotesto strumento, anche quando non ci eran mezzi tanto pronti quanti ne abbiamo oggi per accendere una lampada.

Trombe. Le trombe sono strumenti co'quali mercè l'applicazione di una forza e della pressione atmosferica si eleva l'acqua ad una determinata altezza. Le trombe si distinguono in *aspiranti*, *prementi* ed *elevatorie*, ma per lo più sono o aspiranti e prementi, o aspiranti ed elevatorie. La tromba aspirante e premente (*fig.* 87) è composta da una canna di aspirazione *a*, da una camera di tromba *b* nella quale scorre uno stantuffo o empolo *p*, alla cui asta è applicata la forza motrice sia per mezzo di una leva sia mercè una ruota, da una canna di elevazione *c* e di due animelle *x* e *z* che si aprono entrambi di sotto in sopra. Alzando lo stantuffo *p* si rarefà l'aria che resta nello spazio compreso tra le due animelle *x* e *z* e lo stantuffo, e però l'aria che sta nella canna di aspirazione tra la superficie dell'acqua e l'animella *x* avendo una maggiore tensione dell'aria rarefatta nell'interno della tromba, aprirà quest'animella e passerà nell'interno della camera della tromba. L'animella *z* si mantiene chiusa per la pressione dell'aria esterna. Facendo scendere ora l'empolo *p*, l'aria sottoposta venendo ad esser compressa acquisterà una forza elastica maggiore di un'atmosfera, e quindi aprirà l'animella *z* ed uscirà, non potendo rientrare nella canna di aspirazione. Per tal modo la tromba a' primi colpi di stantuffo estrae l'aria dalla canna di aspirazione, ma in ragione che l'aria della canna anzidetta vien mancando, il liquido in essa si eleverà per la pressione dell'aria esterna, il quale aprendo l'animella *x* entrerà nella camera della tromba quando l'empolo si eleva, e quando questo si abbassa, il liquido entrato nella camera della tromba si eleverà nella canna *c* aprendo l'animella *z*. Alzando lo stantuffo l'acqua non può per aspirazione salire oltre i 32 piedi, ma calando lo stantuffo essa si può per pressione spingere nella canna *c* a qualunque altezza, purchè s'abbia forza bastante. Due di queste trombe senza la canna di aspirazione collocate entro una cassa o vasca piena di acqua, ed aventi una canna comune di elevazione formano la così detta tromba per incendî. Le aste degli stantuffi sono congiunte con le braccia di una leva alle quali si applicano due persone che tengono in moto la macchina.

FIG. 87.



La canna della tromba è comunemente cilindrica e ben calibra-

ta, ma talvolta una sola porzione è calibrata, ed il rimanente è ruvido; in questo caso lo stantuffo è molto lungo da poter sempre passare per la porzione calibrata. Qualche volta la canna della tromba è prismatica a base quadrata e lo stantuffo in conseguenza ha la stessa figura: queste trombe diconsi *americane*.

Della tromba aspirante e premente si fa uso per introdurre l'acqua nello strettoio idraulico di cui vi esposi altrove il principio fondamentale, e la cui descrizione compiuta con la figura corrispondente potrete vedere nella fisica del Pouillet.

La tromba aspirante ed elevatoria (*fig.* 88) è composta da una canna di aspirazione *a*, da una camera *b*, da una canna di elevazione *c*, da uno stantuffo *p* forato nel mezzo e da tre animelle *x*, *y*, *z* che si aprono tutte di sotto in sopra. Quando lo stantuffo sale, l'aria che sta di sopra si comprime aprendo l'animella *z* e se n'esce, quella che sta di sotto si rarefà, e quindi l'animella *x* si apre come nel caso della tromba aspirante e premente, e l'acqua a poco a poco si eleva. Quando lo stantuffo scende l'aria di sotto si comprime, tien chiusa l'animella *x* ed apre l'altra *y*, passando di sopra dello stantuffo. Al secondo colpo di stantuffo si ripetono le medesime cose, vie più si va facendo il vuoto sotto lo stantuffo fino a che arriva l'acqua nella camera della tromba spintavi della pressione dell'aria. Allora nello scendere lo stantuffo l'acqua entrata nella camera della tromba, premuta chiuderà l'animella *x* ed aprirà l'altra *y*, passando così sopra dello stantuffo, il quale nel salire di nuovo, quando lo spazio ch'è di sopra è pieno, spingerà l'acqua nella canna di elevazione *c* aprendo l'animella *z*. Questa tromba come vedete deve esser chiusa di sopra, e l'asta dello stantuffo passa a strofinio stretto attraverso il fondo superiore della tromba; ma se l'acqua dovesse elevarsi ad una piccola altezza, potrebbe togliersi l'animella *z* e fare la tromba aperta di sopra riversando semplicemente l'acqua che si eleva sullo stantuffo per un cannello o risciaquatoio.

FIG. 88.

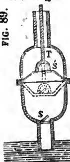


FIG. 89.

La così detta *tromba de' preti* (*fig.*89) ha invece di stantuffo un diaframma di cuoio bene inchiodato intorno intorno, con un'animella in mezzo in *S'*, nel rimanente poi è una tromba aspiran-

te ed elevatoria. Con questa tromba si eleva l'olio ne' lucignoli delle lampade alla Carcel, mercè un congegno di orologeria.

Ci ha molte altre macchine per elevare l'acqua, come i timpani idrovori, le norie, i bindoli cc. ma esse presentano de'mezzi meccanici anzicchè fisici, e però non ci appartengono. Pare ce n'abbia alcune altre delle quali io dovrei tenervi discorso, e queste sono la coclea di Archimede, la macchina di Vera e l'ariete idraulico di Montgolfier, in ciascuna delle quali campeggia un principio diverso, ma la descrizione delle due prime, per verità poco usate, la troverete in tutti gli elementi di fisica di 30 in 40 anni dietro, e dell'ultima in quasi tutte le opere elementari più recenti tra le quali è quella del Pouillet più volte citata.

LEZIONE XV.

MOTO DE'FLUIDI AERIFORMI. — AERODINAMICA.

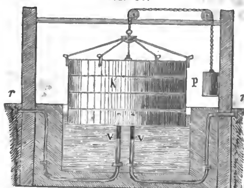
Se un fluido acriforme sia rinchiuso in un recipiente nelle cui pareti sia un foro, il fluido uscirà se la interna pressione vinca l'esterna. Ne' recipienti chiusi la pressione interna è generata dalla tensione o elasticità del fluido aeriforme.

L'aria che si contiene in un fiasco aperto, per la sua elasticità tenderebbe ad uscire, l'aria esterna con la pressione cerca di entrare, e si ha equilibrio; ma se il fiasco avesse dentro aria rarefatta ed alla stessa temperatura dell'aria esterna, questa vi si precipiterebbe dentro: e se il fiasco si trovasse aperto entro il recipiente della macchina pneumatica, una porzione dell'aria in esso fiasco contenuta se ne uscirebbe. Così se voi riscaldate il fiasco di cui si parla, l'aria interna acquistando una maggior forza elastica ne uscirà in parte. Valutando dunque le due pressioni, la interna cioè e l'esterna, si è cercato di determinare la velocità quando si sono avverate le condizioni dello sgorgare de'fluidi aerei, e Daniele Bernuilli suppose dovere per questi come pe' liquidi valere il teorema di Torricelli, il che dentro certi limiti si è trovato bastantemente vero, con una correzione pur dipendente dalla contrazione della vena fluida; ma per pressioni più grandi si sono avute formole più intrigate e forse non ancora esenti da errori e dubbiezze.

Il gas idrogeno bicarbonato che s'usa per illuminare le strade, i teatri ed anche le private abitazioni, parte da uno o più serbatoi i quali con voce ibrida son detti *gassometri*, e deve uscire con una velocità quasi uniforme, che possa essere anche variata a piacimento.

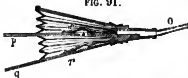
Questo strumento è espresso dalla *fig.*90. In una gran vasca di acqua sta un grosso cilindro *k* di lamine metalliche, di sopra chiuso aperto di sotto: entro la vasca vanno a metter capo due canne *V V* le quali entrano sotto il recipiente cilindrico elevandosi un poco sul livello dell'acqua. Ciascuna canna ha una chiavetta, fuori della vasca in *r* ed *r'*. Una di queste canne comunica con le storte d'onde proviene il gas, e l'altra continua diramandosi per canne minori a tutt' i becchi dei fanali. Quando il gran recipiente è pieno di gas, poggiato sull'acqua, pel suo peso immergesi per una porzione, ed il gas si condensa per la spinta dell'acqua che a guisa di stantuffo cerca di entrare. Se dunque la chiavetta di comunicazione con le storte sia chiusa e l'altra di distribuzione sia aperta, il gas si spingerà in tutte le diramazioni dei meati ed uscirà pe' becchi ne' quali è acceso, ed in ragione che si consuma, il recipiente discenderà nell'acqua, e così il gas che rimane continua tutttavia ad avere la stessa tensione. Un contrappeso finalmente può rendere vario lo sforzo del gassometro nel discendere nell'acqua, e quindi varia la velocità onde il gas vien fuori pe' becchi.

FIG. 90.



In molti rincontri si ha bisogno di correnti d'aria, specialmente per meglio alimentare la combustione, e questo secondo i casi si consegue per diversi modi. Il mantice domestico (*fig.* 91) dà un soffio continuo, essendo diviso in due compartimenti con due animelle *s* ed *s'*. Aprendo le ali *b* e *c* si forma un vuoto nello spazio che rimane tra esse nell' interno del mantice, l' animella *s* si chiude per la pressione dell'aria e l'altra *r* si apre, e quindi l'anzidetto spazio si empie d'aria, ma stringendo le ali *b* e *c*, l'aria rinchiusa tra esse passa per l'animella *s* nel compartimento contiguo, e quindi esce per la canna del mantice, mentre nuovamente si empie il primo compartimento con aprire le ali anzidette. Ponen-

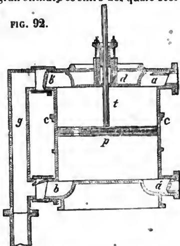
FIG. 91.



do poi nella parte superiore *a* del mantice un peso questo farà uscire l'aria con maggior forza specialmente quando si tratti di mantici più grandi quali sono per esempio quelli de'fabbri ferrai.

Ma nelle più grandi fucine si adopera un altro congegno dinotato dalla fig. 92: ivi vedete un gran cilindro entro del quale scorre uno stantuffo *p* la cui asta *t* passa a strofinìo stretto per lo fondo superiore dell' anzidetto cilindro.

FIG. 92.

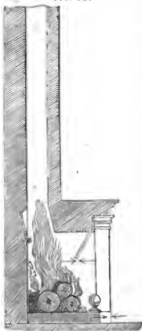


Quattro animelle *a*, *a'*, *b*, *b* sono ordinate ad introdurre l' aria in questo cilindro ed a farla uscire per la canna *g*. È agevole intendere che quando lo stantuffo scende l'animella *a* si apre e fa entrare l'aria da sopra, l'altra *b* si apre e fa uscire quella che trovavasi sotto, nell'atto che le altre *a'* e *b'* si chiudono; e per contro quando lo stantuffo si eleva, le animelle *a'* e *b'* si aprono l'una per fare uscire l' aria che trovavasi sopra l'altra per farla entrare di sotto, e le altre *a* e *b* si chiudono: in tal modo per la canna *g* passerà una corrente d'aria continua.

Ci ha pure de'ventilatoi che sono maniere di ruote ad ali, mosse con molta velocità le quali spingono continuamente l' aria in una grossa canna che va a metter capo nel fornello.

La chimica insegna che la combustione si alimenta a spese di uno de'componenti dell'aria ch'è l'ossigeno, e però quando questo è consumato, la combustione viene mancando; ecco la necessità di rinnovare continuamente l'aria. Ma solo quando si vuole una combustione molto energica si ha mestieri di un rinnovamento artificiale, giacchè ne' casi più comuni siffatto rinnovamento si opera di per se, ed in altre congiunture l'arte si limita solo a renderlo più facile e più copioso E per fermo, se avete un braciere acceso nella stanza, non durerete molta pena ad accorgervi che l'aria continuamente si eleva dal medesimo formando una maniera di corrente verticale che si appalesa dal vedere che de'corpi leggieri, come frammenti di carta bruciata per esempio, invece di cadere son trasportati in alto: se dunque l'aria calda ch'è servita alla combustione perchè più leggiera si eleva, l'altra circostante andrà in sua vece e così appresso. Il cinerario perciò ne'fornelli è ordinato a ricevere la

nuova aria la quale attraversando continuamente i carboni facilita la combustione. Ma a rendere anche più pronta è continua la elevazione dell'aria calda viene la *canna fumaria* ossia il cammino entro del quale si ha una corrente di aria calda che ascende, sostituita d'altrettanta che si rinnova sul combustibile; questa maniera di succiamento de'camini è detto da francesi *tirage*. Quando sul fuoco ci ha un camino (fig. 93), supponendo che l'aria calda in esso


FIG. 93.

contenuta tenda egualmente ad uscire per la base e per la cima, ossia per la rocca o fumajuolo che dirsi voglia, pure è chiaro che la pressione che deve vincere da sopra e minore di quella che opera di sotto e questa differenza dipende dall'altezza del camino, onde l'aria fredda tende ad entrare di sotto con la pressione dovuta all'intera colonna atimosferica, e da sopra con una pressione minore per quanto vale l'altezza del cammino. Aggiungete la tendenza dell'aria calda più leggiera ad elevarsi ed intenderete la ragione del succiamento. Dalle cose dette apparisce la necessità di dare alla canna o gola del cammino una certa altezza ed un diametro proporzionato alla quantità del combustibile. Per la qual cosa quando il succiamento non si fa bene, il cammino fa fumo e la combustione non è animata. Se il fumajuolo termini in un'apertura orizzontale o anche inclinata, il vento che spiri contro l'apertura potrà respingere indietro l'aria calda ed il fumo; ecco perchè spesso trovate fatto il fumajuolo mobile in guisa che mercè una banderuola è costretto a volgere sempre il dorso al vento.

Quella canna di vetro che si pone sulla fiamma di molte lampade, fa l'uffizio di camino, e però la fiamma diviene più chiara con tali canne di vetro, perchè non solo l'aria più regolarmente si rinnova entrando continuamente dalla parte di sotto siccome esce dalla parte di sopra, ma perviene sulla fiamma ad una temperatura alquanto più elevata. Le lampade che hanno quel lucignolo vuoto di dentro, volgarmente detto *calzettella*, sono regolate a doppia corrente d'aria, una che passa per entro il lucignolo e l'altra esteriormente al medesimo. Nelle così dette lampade *solari* queste due cor-

renti trovansi assai meglio dirette e quindi ne risulta una luce più viva e senza fumo, il quale rappresenta una parte del combustibile che esala incombusta dando cattivo odore.

Quando nell'interno de'monti si trovano caverne con due aperture una superiore all'altra, si ha nella state una corrente di aria fredda che esce per l'apertura inferiore, e nel verno una corrente inversa per cui la caverna assorbe aria per questa stessa apertura. Nella primavera e nell'autunno perciò ci ha sospensione. Qualora considerate che nel verno la temperatura delle caverne è più elevata di quella dell'ambiente, e che nella state si avvera il contrario, non durerete fatica a darvi ragione di cosiffatti fenomeni. Sausurre visitò nell'Umbria una di queste grotte dalla quale in estate usciva un vento freschissimo: nelle vicinanze del Vesuvio a Bosco io ne ho veduta una che visitai in inverno ed in estate, ed il P. Pianciani crede giustamente derivare dal medesimo principio il fresco delle cantine di *Monte Testaceo* volgarmente *Testaccio* in Roma, colle interamente formato di frammenti di urne, anfore ec. che forse per legge dovevano un tempo in quel sito esser deposti.

Vedremo in meteorologia le cagioni onde procedono le grandi correnti d'aria nell'atmosfera le quali formano i venti.

SECONDA SERIE.

CALORICO

PARTE PRIMA

LEZIONE I.

NOZIONI GENERALI, E TERMOMETRI.

Noi abbiamo giusta ragione di credere che ne' corpi che ci circondano risegga la cagione obbiettiva delle sensazioni di caldo e di freddo che proviamo, ed abbiamo dato il nome di *calorico* a quella efficienza per la quale si genera in noi la sensazione di calore, e dalla quale parecchi altri effetti vedremo derivare; nè abbiamo posta un' altra efficienza generatrice della sensazione del freddo, imperciocchè abbiamo tenuto per fermo, che col porre il calorico noi possiamo dar ragione anche delle sensazioni di freddo che in presenza di alcuni corpi proviamo, perocchè avendo noi un certo grado di calorico, sentiamo caldo in presenza di corpi che ne hanno più di noi, o almeno per opera de' quali il nostro si viene aumentando, e per contro sentiamo freddo in presenza di que' corpi per virtù de' quali il nostro si va scemando, e che a nostro modo d'intendere ci sottraggono calorico. Quindi è che fuori della nostra sensibilità la voce freddo non ha significato alcuno, e ne' corpi non deve considerarsi che un diverso grado di calorico o una diversa temperatura. Il freddo assoluto che sarebbe la negazione totale di calorico probabilmente è da tenere per un impossibile, ma se non è tale, è certamente una cosa ignota in natura.

Ma che cosa è mai questa efficienza obbiettiva che s'incontra nella materia ponderabile senza farla variare di peso? È forse un fluido imponderabile come alcuni pensarono, o è un'azione o una particolar maniera di operare della stessa materia ponderabile, vale a dire una seconda maniera di esplicarsi o manifestarsi come forza? O pure un'azione della medesima sopra di un fluido etereo che la circonda? Se si possa avventurare qualche opinione come più pro-

babile intorno alla natura del calorieo, potrà vedersi dopo lo studio de'fatti, e però noi non osiamo in questo momento di darne aleuna definizione c e'ingegneremo solo di studiarne gli effetti.

Abbiamo in sul principio di queste lezioni fatto vedere come i corpi si dilatano per caldo e si restringono per freddo ossia per iscemamento di calorico ; or ci tocca a vedere con quali leggi siffatto eangiamento di volume si avvera ne' corpi. È poi un fatto che i eorpi possono passare dallo stato solido allo stato liquido e da questo allo stato di fluidi aeriformi , come di fluidi acriformi possono diventar liquidi e di liquidi tornar solidi. Or di siffatti cangiamenti di stato vedremo unica e sola cagione essere il calorieo , e però dobbiamo studiare le condizioni e le leggi di tali cangiamenti e dar ragione de'fenomeni che ne derivano. Tutto questo sarà l' obbietto della prima parte del trattato del calorico.

La seconda parte poi si versa intorno alla determinazione del calorico latente e del calorico speeifieo , ed alle leggi ed a' modi secondo i quali il ealorico si diffonde o si propaga nei eorpi. Di questa seconda parte discorreremo dopo di aver trattato della lucc , e eiò per ragioni che appresso facilmente intenderete. Ma innanzi tutto è mestieri che iò vi parli del termometro.

Tutt'i corpi, solidi, liquidi o aeriformi si dilatano per ealdo e si restringono per freddo(1), e quasi tutti entro certi limiti subiscono dilatazioni o restringimenti proporzionali agli acquisti o alle perdite di calorico che fanno, e però dentro questi limiti tutti possono col loro dilatarsi o restringersi esser atti ad indicarci la temperatura, ossia il grado di calorico libero dell' ambiente in cui si trovano (2). Per la qual cosa ci ha de' termometri a solidi, a liquidi ed a fluidi aeriformi. Vi parlerò per ora de' termometri a liquidi, riserbandomi di parlarvi degli altri ne' luoghi opportuni.

Abbiasi un cannello di vetro ealibrato cioè tale (che le parti di eguali lunghezze siano anche di eguale eapacità (3) : fuso da una parte vi si soffii una pallina o recipiente di altra forma, che dicesi bulbo del termometro. Con qualche artifizio il quale ba per isco-

(1) Vale a dire per aumento o diminuzione di calorico.

(2) Il significato di queste parole , *calorico libero* e *temperatura* , si farà più chiaro per le cose che appresso si diranno.

(3) Se non fosse calibrato anche potrebbe adoperarsi , ma converrebbe dividerlo in parti non di eguali lunghezze ma di eguali capacità. Per vedere poi se il cannello è calibrato vi s' introduce una goccia di mercurio la quale soffiata con una vescica di gomma elastica si fa percorrere tutta la lunghezza del cannello: se la goccia si mantiene sempre della stessa lunghezza il cannello sarà calibrato.

po di rarefare l'aria col riscaldamento, il bulbo col cannello si empiono di mercurio purissimo, il quale poscia si fa riscaldare affinchè una parte di esso si versi per dilatazione, e qualche bollicina d'aria in pari tempo se n'esca: indi al dardo della lucerna di cui fa il sofficiator di vetro che i nostri padri dissero il gonfia, il cannello si chiude. È chiaro che il mercurio abbassandosi per raffreddamento rimarrà di sopra un vuoto simile al torricelliano.

Alcuni usano rimanervi un poco d'aria al di sopra con piccolo bulbo per poterla accogliere, questa ha per obbietto di poter riunire alla colonna termometrica qualche porzione che se ne suole distaccare, il che si ottiene riscaldando l'aria di sopra la quale esercitando una certa pressione sulla porzione di mercurio distaccata la spinge verso il rimanente della colonna. Preparato così il termometro si deve graduare ; e però si pone dentro una buona quantità di neve in liquefazione e si segna quel punto in cui il mercurio scendendo si ferma. Se cento volte riporterete il termometro nella neve in liquefazione altrettante vedrete il mercurio fermarsi in quel punto, il che dimostra essere la temperatura della liquefazione della neve sempre la stessa. Segnato dunque questo punto si porti il termometro nell'acqua distillata bollente sotto la media pressione barometrica (1), e si segni il punto in cui il mercurio rimarrà stazionario. Anche questa è una temperatura sempre la stessa, siccome potete assicurarvi ripetendo mille volte l'esperienza. Or dividete l'intervallo che passa tra i due punti segnati in 100 parti eguali, ponendo il zero al primo e 100 all'ultimo dei medesimi, ed avrete il termometro a scala centigrada o di Celsio. La scala può continuarsi per circa 36° sotto lo zero, e questi gradi sogliono dirsi negativi e si contradistinguono col segno —, per cui se trovate scritto —10° significa 10 gradi sotto lo zero. La scala può anche essere continuata sopra cento per parecchi gradi, dentro certi limiti che tra poco saranno dichiarati.

Se poi l'intervallo tra i due punti de' quali di sopra è detto si divida in 80 parti eguali, ponendo il zero al primo e 80 al secondo, si avrà la scala di Reaumur. E se finalmente si segni 32 al punto della liquefazione della neve e 212 al punto dell'acqua bollente, dividendo l'intervallo in 180 parti, quante ce n'ha per andare da 32 a 212, e continuando la scala di sotto di 32 fino allo zero, si avrà il così detto termometro di Fahrenheit.

Dalle cose dette s'intende che lo zero non dinota già la priva-

(1) La necessità di questa pressione s'intenderà appresso. Invece di porre il termometro nell'acqua bollente, suolsi porre ne' vapori che immediatamente si elevano da essa.

zione assoluta di calorico, ma sibbene una temperatura che si è scelta per rappresentare l'origine della scala, quindi quella temperatura che col termometro Fahrenheit è espressa da 32°, è dinotata con zero nelle scale degli altri termometri. Qualunque sia poi la scala segnata sul termometro, si potranno facilmente tradurre le indicazioni di questa in quelle di un'altra. Così per esempio, moltiplicando i gradi della scala di Reaumur per 5 e dividendo il prodotto per 4, si avranno i gradi della scala centigrada, siccome questi moltiplicati per 4 e divisi per 5 danno i Reaumuriani (1).

La scala termometrica alle volte è segnata sopra una tavoletta di legno di avorio o di metallo addossata al cannello, ma spesso sta segnata sul cannello medesimo. Ne' termometri che servono a misurare la temperatura dell'ambiente la scala per lo più non giunge fino al punto dell'acqua bollente, ma arriva ad una cinquantina di gradi, e per contro in altri la trovate protratta fino a 350° sopra 0°.

Col termometro si osserva non la dilatazione assoluta ma la sola dilatazione apparente vale a dire la differenza tra la dilatazione del mercurio e quella del vetro.

Il bulbo nel termometro ha per iscopo di rendere visibili e più o meno lunghi i gradi della scala, perocchè è agevole intendere che i gradi saranno tanto più lunghi per quanto maggiore sia il bulbo e più angusto il cannello. I lunghi gradi danno al termometro grande sensibilità perchè possiamo misurare le piccole frazioni del grado; ma d'altra banda un termometro a grosso bulbo richiede molto tempo per riscaldarsi o raffreddarsi, e però non riesce pronto nelle indicazioni; onde per avere questa seconda maniera di sensibilità ch'è riposta nel più sollecito equilibrio con la temperatura dell'ambiente che circonda il termometro, conviene che il medesimo contenga, poste le altre cose eguali, la minima quantità di materia. Oltre a ciò un termometro a bulbo molto grosso sarebbe inetto a far conoscere la temperatura di un corpo molto tenue col quale venisse in contatto, perocchè supponendo questo

(1) Chiamando C, R ed F i gradi delle tre scale anzidette, centigrada, reaumuriana ec. avremo

$$C : R = 100 : 80 = 5 : 4, \text{ e però}$$

$$C = \frac{R \times 5}{4} \text{ ed}$$

$$R = \frac{C \times 4}{5}$$

Così pure $C : F - 32 = 100 : 180 = 5 : 9$, e quindi $C = \frac{(F-32) \times 5}{9}$, ec.

per esempio molto freddo, con poca quantità di calorico che il termometro gli cedesse tosto l'equilibrio di temperatura verrebbe a comporsi senza che il termometro possa per la sua grande quantità di materia accennare in modo sensibile la perdita sofferta. Ci ha dunque due maniere di sensibilità nel termometro a liquido impossibili a stare insieme, e però secondo le opportunità converrà fare la scelta di quello che meglio convenga.

Se non che ne' casi di maggiore bisogno di precisione si useranno più termometri ciascuno de' quali percorra un 15 in 20°: uno per esempio segnerà le temperature da + 10° a —5, un altro da—5 a — 20, un altro da + 10 a + 25 ec. con piccoli bulbi e cannelli sottilissimi. Cotesti termometri prenderanno presto le temperature ed avranno i gradi sufficientemente lunghi.

In vece del mercurio spesso si usa l'acquavite colorita in rosso, e questo termometro detto comunemente ad *alcool* è più opportuno per le temperature molto basse, perchè più tardi del mercurio si rassoda ossia si congela, e quindi si dilata o si restringe in proporzione con le temperature, quando il termometro a mercurio mancherebbe di questa virtù; e poi è più acconcio ad indicare le piccolissime variazioni di temperatura perchè si dilata alquanto più del mercurio.

Non si sa veramente con certezza chi fosse stato il primo inventore del termometro, molti ne danno la gloria all'olandese Drebbel, altri al Galilei, altri al Santorio, altri al nostro Sebastiano Bartoli da Montella ec. Benedetto Castelli in una lettera del 1638 scrive, che da più di 35 anni dietro avea veduto lo strumento del Galilei *per esaminare i gradi di caldo e di freddo*. Questa data sarebbe superiore a quella vantata dal Drebbel che corrisponde al 1620. Secondo poi alcune citazioni del Libri ricavate dal Castelli e dal Viviani, Galilei avrebbe inventato il termometro prima del 1597. Comunque sia, il primo termometro non fu a liquido ma ad aria, e consisteva in un cannello con bulbo prima riscaldato e poi capovolto nell'acqua; l'aria interna prima rarefatta poscia costipandosi faceva ascender l'acqua nel cannello per la maggior pressione dell'aria esterna, e le indicazioni dello strumento dipendevano non solo da cangiamento di temperatura ma da cangiamento di pressione, il che rendeva lo strumento molto imperfetto. La scala poi era arbitraria, vale a dire senza punti fissi. Poscia comparve il termometro ad acquarzente dell'Accademia del Cimento, il quale avea la forma medesima del termometro de' nostri tempi, ma la scala era di 50 gradi e senza punti fissi, pure era tale la valentia e la pratica di quelli accademici, che giungevano a far andare quasi d'accordo tra loro i molti termometri che fabbricarono, per cui

quasi tutti segnavano gradi $13\frac{1}{2}$ alla congelazione dell' acqua, e Guglielmo Libri ha trovato che lo zero del termometro del Cimento diviso in 50° corrisponde a — 15° del termometro a scala di Reaumur, ed il grado 50mo al 40mo dello stesso, e però 50° del primo valgono 59 del secondo. Per la qual cosa comparando le osservazioni fatte in quel tempo sulla temperatura della Toscana con le presenti, non pare che ci sia stata sensibile elevazione nella temperatura media del clima.

Il Renaldini poi fu il primo a trovare i punti fissi de' quali di sopra è detto, dividendo lo intervallo tra la temperatura del ghiaccio in fusione e quella dell'acqua bollente in 12 parti. Isacco Newton usando per liquido termoscopico l'olio di lino, segnò eziandio lo zero alla temperatura della neve in liquefazione e 12 alla temperatura del corpo umano, e quella dell'acqua bollente corrispondeva a 34 (1).

Fahrenheit nel 1724 presentò il suo termometro con lo zero al punto del maggior freddo che si sentì in Danzica nel 1709, che può sempre aversi mescolando neve e sale ammoniaco in parti eguali, e 600 alla temperatnra della ebollizione del mercurio, e come alla temperatura dell' acqua bollente corrispondeva 212 così spesso la scala fu limitata a questo numero.

Nel 1730 Reaumur in Francia usando acquavite mescolata con una certa quantità di acqua, vide che questa avendo alla temperatura della congelazione dell'acqua un volume come 1000, prossima all' ebollizione lo avea di 1080 per cui divise la scala in 80 gradi ciascun de' quali dinotava $\frac{1}{1000}$ di aumento del volume a 0°, ma fu Deluc che sostituì il mercurio all' acquavite e pose 80 alla temperatura della ebollizione dell' acqua, per cui quel termometro che oggi impropriamente diciamo di Reaumur è essenzialmente diverso da quello che uscì dalle mani di questo fisico, e dovrebbe perciò portare piuttosto il nome di De Luc.

Abbiamo detto fin da principio che tutt' i corpi poteano entro certi limiti essere adoperati per termometri, ma ce n' ha di quelli ne' quali questi limiti o sono troppo ristretti o presentano qualche anomalia, per cui tra i liquidi vanno usati il mercurio e l'acquavite: il primo può essere adoperato da — 36° fino a 250 senza errore sensibile, secondo alcune recenti sperienze di Regnault, sebbene secondo altre più antiche di Dulong e Petit appena si potrebbe estendere la scala in parti eguali da — 36° fino a + 120.

(1) V. *Geschichte der Physik von Fischer*. Gottinga 1802.

Queste conseguenze si ricavano dal paragone tra un termometro a mercurio con un termometro ad aria; ritenendosi che in questo le dilatazioni ed i restringimenti procedano con la stessa regolarità a tutte le temperature; per la qual cosa comparando due termometri uno ad aria ed un altro a mercurio, questi si veggono andare bellamente d'accordo fino ad un certo segno, e poi a poco a poco cominciano a dare delle differenze sempre crescenti. Dal momento in cui l'accordo finisce si suppone che la regolarità delle dilatazioni manchi nel mercurio (1). Pongo nella seguente tabella i risultamenti delle sperienze di Dulong e Petit, e di Magnus per mostrarvi la incertezza che ancora si ha sopra tale argomento.

DULONG E PETIT		MAGNUS	
TERMOMETRO AD ARIA	TERMOMETRO A MERCURIO	TERMOMETRO AD ARIA	TERMOMETRO A MERCURIO
— 36°	— 36°	— —	— —
0	0	0°	0°
+ 100	+ 100	+ 100	+ 100
148,70	150	150	150
197,05	200	200	200
245,05	250	250	250,3
292,20	300	300	301,2
— —	— —	325	325,9
350,00	360	350	353,3

Inviandovi ad opere o più estese o più pratiche per tutto ciò che concerne le avvertenze necessarie per ben graduare un termometro, non posso tacervi un fatto scoperto dal Bellani che vi dovrà

(1) Rudberg dà la seguente formola per tradurre i gradi del termometro a mercurio in quelli del termometro ad aria

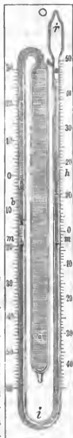
$$t = 1{,}0002675T + \frac{0{,}25691T^2}{(10)^4} - \frac{0{,}28366T^3}{(10)^6},$$

ove t dinota i gradi del termometro ad aria e T i gradi del termometro a mercurio. Da questa formola si ricavano i valori che seguono

T	t	T	t
— 36°	—35°,36	100°	100°
0	0	200	198,81
+ 50	+ 50,04	300	294,73

servire di regola nelle osservazioni termometriche. Se dopo di aver graduato il termometro lo riponete nuovamente nella neve in liquefazione, troverete che il mercurio non discenderà sino allo zero segnato nella scala, ma alquanto di sopra, e tanto più per quanto più tempo e passato da che il termometro fu fatto, tàlchè dopo un anno circa tale spostamento può giungere a superare un grado. Questo, secondo lo stesso Bellani, par che derivi dal rimanere il vetro alquanto dilatato dopo il riscaldamento sofferto nel fabbricare il termometro e nel tornare lentamente al volume che gli appartiene, per cui il termometro non dovrebbe essere graduato tosto che si è fatto, ma la graduazione dovrebbe eseguirsi un anno dopo, quando le molecole del vetro han preso il loro equilibrio; questo almeno propone il Bellani. Il Maiocchi poi consiglia di segnare innanzi tutto il punto dell'acqua bollente, e prima di segnare lo zero sottoporre il termometro ad una temperatura di — 19 o 20. I termometri ad acquavite quantunque non vadano del tutto esenti dall'errore anzidetto, pure lo presentano molto limitato. Ecco la necessità di verificare lo zero prima di fare osservazioni con un termometro, il quale anche quando sia siato corretto dell'errore di cui si parla può tornare a darcelo sol che venga per qualche tempo esposto ad elevate temperature.

FIG. 94.



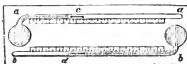
Ci ha de' termometri che segnano la massima e la minima temperatura avvenuta in un dato tempo senza che l'osservatore si trovi presente. Questi strumenti hanno il nome di *tormometrografi* o di termometri a massimo è minimo, e sono di varie maniere. Ve ne descriverò i più comuni.

Termometrografo di Sixt o di Bellani. Esso è formato da un serbatoio di vetro *a* (fig. 94), da un cannello ricurvo che termina in una bolla o rigonfiamento *r'*. Il serbatoio insieme con una parte del cannello fino ad *m* è pieno di acquavite; la porzione del cannello da *m* fino ad *m'* è piena di mercurio, ed il resto del cannello contiene acquavite. Sulle due superficie del mercurio stanno due pezzettini di ferro inviluppati nel vetro; ciascuno di questi tiene nella parte di sopra legato un capello che forma una piegatura anulare, la quale per la propria elasticità urta contro le pareti del cannello. Supponete che cotesti due pezzettini di ferro o indici siano sul mercu-

rio, siccome gli abbiamo supposti, e la temperatura dell'ambiente si elevi, è chiaro che l'acquavite del serbatoio dilatandosi, il mercurio scenderà in *m* e si eleverà in *m'*, allora l'indice *b* resterà pensile nell'acquavite sostenuto dalla elasticità del capello che urtando le pareti del cannello vi aderisce anche per azione capillare, e l'altro indice *h* sarà spinto in alto dal mercurio: che se la temperatura dell'ambiente si abbassasse, allora l'indice *h* ritarrebbe dove era stato spinto, e l'altro *b* verrebbe guidato in alto dal mercurio; percui quando l'osservatore ritorna sullo strumento leggerà sulle due scale i numeri che corrispondono al sito de' due indici e conoscerà la massima e la minima temperatura avvenuta da che i due indici anzidetti furono collocati sul mercurio. Per rimettere questi al loro luogo nuovamente, ossia per apparecchiare di nuovo lo strumento, si fa uso di una piccola calamita la quale con la sua virtù di attirare il ferro farà calare gl'indici sul mercurio. Il capello col tempo si altera e lo strumento rimane inutile, ma i francesi vi han sostituita una sottilissima molla o laminetta di vetro.

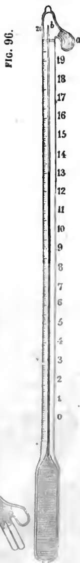
Termometro a massimo e minimo di Rutterford.—Imaginate due termometri orizzontali, uno a mercurio *aa* (fig. 95) e l'altro *bb* ad acquavite: nel cannello di ciascuno ci sia un indice come quelli pocanzi descritti, ma senza capello. Supponete l'indice del termometro a mercurio ch'è il termometro a massimo', messo a contatto con la superficie del liquido nel cannello, agevole sarà intendere che quando il mercurio si dilata l'indice sarà spinto innanzi e segnerà la temperatura massima, non potendo tornare indietro quando il mercurio per raffreddamento si contrae. L'indice del termometro a minimo poi è immerso nell'acquavite la quale nel restringersi lo tira seco verso il bulbo per effetto della capillarità di cui appresso discorreremo, e nel dilatarsi lo rimane dove si trovava. Laonde il sito de' due indici per rispetto alle scale corrispondenti indicherà la massima e la minima temperatura.

FIG. 95.



Quando si deve conoscere la temperctura dell'acqua a molta profondità nel mare, in un lago, in un pozzo, ec. nel far discendere questi strumenti chiusi in astucci metallici, si può incorrere in qualche errore, perocchè gl'indici possono per effetto di scuotimenti spostarsi e recarvi nel ritorno degli strumenti delle false indicazioni. In queste congiunture riescono opportuni i termometri a massimo ed a minimo di Walferdin.

Termometro a massimo ed a minimo di Walferdin. — Il termometro a massimo (fig. 96) è un termometro a mercurio avente nello estremo superiore del cannello un serbatoio *a* o ricettacolo di riversamento, come comunemente lo dicono, nel quale il cannello finisce con piccola apertura sporgente *b*. Supponete che si voglia misurare la temperatura di un' acqua termale posta ad una certa profondità, la quale temperatura si sappia essere superiore a 20.° Allora si ponga il termometro in un bagno la cui temperatura misurata con buon termometro modello sia di 20° ; il mercurio dilatandosi uscirà per la punta *b* e si verserà nel serbatoio *a*, e quando l' equilibrio di temperatura è avvenuto resterà pieno di mercurio tutto il cannello con una gocciola all'estremo della punta che si fa cadere dando una piccola scossa allo strumento. Or supponete che il medesimo discenda nell' acqua di cui di sopra è detto ; fino a che l'ambiente abbia temperature minori di 20° il mercurio discenderà, ma come prima la temperatura diviene più elevata, nuovo mercurio si verserà nel serbatoio. Aspettando dunque per un certo tempo affinchè s' abbia l' equilibrio, scuotendo se si può di nuovo lo strumento, si tiri fuori. Riportato ora nel bagno a 20°, misurati col termometro modello, supponghiamo che il mercurio si fermi a 10° della scala del termometro a massimo, è chiaro che la temperatura dell'acqua dovea essere di 20+10.

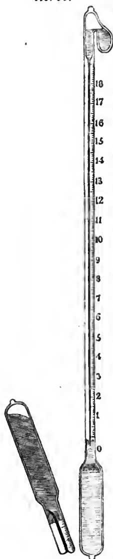


Si potrebbe anche non tener conto della scala del termometro a massimo, misurando tutto con quella del termometro modello, perocchè tirato quello fuori dell'acqua e riportato in un bagno che si riscaldi gradatamente finchè il cannello si empia di mercurio, è chiaro che la temperatura presente del bagno deve essere eguale a quella dell'acqua in cui lo strumento fu poco prima introdotto. La stessa figura fa vedere come il mercurio si fa rientrare nel cannello quando n' è uscito.

Il termometro a minimo poi dello stesso autore, dinotato dalla

figura 97 è anch'esso un termometro a mercurio, ma verso l'estremo inferiore del cannello trovasi un poco di acquavite nella quale passa l'estremo del medesimo fatto a punta. Ci ha poi nella parte di sopra un serbatoio che contiene parimenti acquavite. Fingiamo che abbiasi a conoscere la temperatura presso al fondo di un lago la quale si supponga esser di circa 6°. Si comincia dal raffreddare lo strumento per parecchi gradi sotto la temperatura di 6°, allora s'inclini il termometro affinchè il mercurio tocchi la punta e si riscaldi acciocchè questo liquido entri nel cannello per effetto della dilatazione. Indi raddrizzato lo strumento si ponga in un bagno la cui temperatura sia di alcuni gradi sopra 6, a 12° per esempio, e si noti dove corrisponde nella scala l'estremo superiore della colonna di mercurio. Facciasi così preparato discendere questo termometro nel lago. Se le prime falde d'acqua sono più calde, la colonna di mercurio ascenderà fino a poter giungere nel serbatoio superiore. Ma quando viene il freddo il mercurio per là punta discende nel bulbo sotto l'acquavite, senza poter più ritornare nel cannello per nuova elevazione di temperatura. Allora basterà vedere la colonna residua qual numero di gradi rappresenta: questo numero tolto da 12 darà la temperatura che si domandava.

FIG. 97.



Ci sarebbero anche altri termometri di questo genere come quello del Landriani, quello a riversamento che il Bellani descrisse nel *Giornale di fisica* ec. di Brugnatelli, ed altri, ma ci basti l'aver conosciuti i più comuni.

De' termometri a solidi è de' termometri ad aria discorreremo in altre occasioni.

LEZIONE II.

LEGGI SECONDO LE QUALI I CORPI SI DILATANO PER EFFETTO DEL CALORICO — APPLICAZIONI.

Sebbene tutt'i corpi si dilatino per effetto del calorico, salvo qualche eccezione di cui parleremo tra poco, pure non tutti si dilatano egualmente. I fisici per esprimere in numeri la varia dilatabilità dei corpi in una maniera indipendente dalla loro grandezza han cercato di determinare per ciascuno quel ch'essi addimandano *coefficiente della dilatazione*.

Ed in prima dicesi coefficiente della dilatazione lineare di un corpo il quoziente che si ha dividendo l' allungamento che questo corpo riceve passando da 0° da 1° per la lunghezza di esso corpo a 0° (1).

Così per esempio se una verga di zinco della lunghezza di 10^{m} alla temperatura 0°, portata ad 1° si allungasse per 1^{mm}, il coefficiente di dilatazione lineare sarebbe di $\frac{1}{10000}$ (2).

Supponete che dopo di aver trovato il coefficiente dilatazione lineare di un corpo tra 0° ed 1°, lo troviate tra 1° e 2° ec. se questi coefficienti sono eguali, allora si dirà questo corpo avere costante il suo coefficiente di dilatazione. Il coefficiente di dilatazione ne'solidi generalmente varia a temperature molto elevate quanto più si avvicinano alla fusione, e nei liquidi all' avvicinarsi verso la ebollizione o verso lo stato solido.

Nella 5ª edizione degli elementi di fisica del Pouillet trovate descritti i metodi di Ramsden, di Lavoisier e Laplace, di Dulong e Petit, non che quello dell'autore medesimo per determinare il coefficiente di dilatazione de'solidi: io non mi trattengo ad espor-

(1) In vece di dire quozlente potete dire la ragione tra l'allungamento e la lunghezza.

(2) In generale chiamando l la lunghezza a 0°, b l' allungamento per un grado ed n il coefficiente di dilatazione, si avrà

$$n = \frac{b}{l}$$

li, ma vi pongo solo nella seguente tabella i coefficienti di dilatazione lineare e cubica di alcuni corpi solidi (1).

NOMI DE' CORPI	COEFFICIENTE di dilatazione lineare O DILATAZIONE PER 1.	COEFFICIENTE di DILATAZIONE CUBICA
Vetro	0, 00000861	0, 00002583
Cristallo	» » 0700	» » 2101
Platino.	» » 0884	» » 2652
Palladio	» » 1000	» » 3000
Acciaro.	» » 1080	» » 3240
Ferro fuso.	» » 1110	» » 3330
Ferro.	» » 1182	» » 3546
Bismuto	» » 1392	» » 4176
Oro.	» » 1514	» » 4542
Rame.	» » 1712	» » 5136
Ottone	» » 1867	» » 5601
Argento	» » 1910	» » 5730
Stagno	» » 2173	» » 6519
Piombo.	» » 2848	» » 8544
Zinco.	» » 3108	» » 9324

(1) Il coefficiente di dilatazione cubica è la ragion che passa tra l'aumento di volume che un corpo riceve passando da 0° ad 1° ed il volume a 0°, e questo si dimostra esser triplo del coefficiente di dilatazione lineare. Ma prima di tutto diamo la soluzione di due problemi relativi alla dilatazione lineare e poi di due altri somiglianti che riguardano la dilatazione cubica. Abbiamo di sopra avuto

$$n=\frac{b}{l} \text{ e però } nl=b.$$

Or chiamando l' la lunghezza della medesima verga alla temperatura t entro i limiti tra i quali il coefficiente di dilatazione è costante, avremo

$$l'=l+tb \text{ ovvero } l'=l+ntl \text{ ossia } l'=l\ (1+nt)$$

Quindi data la lunghezza di una verga alla temperatura 0° e dato il coefficiente di dilatazione della materia onde la verga è formata, si trova la lunghezza di essa verga alla temperatura t.

Similmente dinotando l'' la lunghezza di questa verga ad una temperatura t' avremo

$$l''=l'\ (1+nt');$$

dalle quali ultime equazioni eliminando l si avrà

$$l'=l'\left(\frac{1+nt'}{1+nt}\right)$$

Il coefficiente di dilatazione de'corpi solidi è quasi costante, siccome si è detto, per temperature che si elevano fino a **100** e **150°**, ma per temperature più alte le dilatazioni procedono più rapide, ossia il coefficiente di dilatazione diviene più grande, e questo per lo più non si è determinato. La dilatazione generalmente parlando è uniforme per tutti i versi, ma ne' cristalli la cosa procede altrimenti, perocchè un romboedro di spato d'Islanda tenderebbe col calore ad accostarsi al cubo.

Vi addurrò qualche esempio dal quale vedrete la utilità della precedente tabella non che di altre più estese nelle quali siano notati i coefficienti di dilatazione de' corpi solidi. Supponete una strada ferrata di **100** chilometri in un clima nel quale le rotaie nel verno dovessero prendere una temperatura di **—20°** ed in estate di **+40°**

Eseguendo la divisione e trascurando i termini del quoziente ove si trovano n^2, n^3 ec. come piccolissimi, si otterrà finalmente

$$l'' = l\ (1 + n\ (t' - t)).$$

Con quest'ultima formola, data la lunghezza di una verga ad una temperatura t ed il coefficiente di dilatazione della materia di essa, si trova la sua lunghezza per un altra temperatura t'. Se poi l' ed l'' fossero note insieme con le due corrispondenti temperature, si ricaverebbe n coefficiente di dilatazione lineare, e se questo fosse noto ed ignota una delle temperature t o t' si potrebbe conoscere questa.

Dicendo poi m il coefficiente di dilatazione cubica di un corpo, v il suo volume a 0° ed a l'aumento che riceve per 1° di temperatura, si avrà

$$m = \frac{a}{v}\text{, ossia } a = mv.$$

Supponendo la dilatazione uniforme e chiamando v' e v'' i volumi corrispondenti alle temperature t e t' avremo

$$v' = v\ (1 + mt) \text{ e } v'' = v'\ (1 + m\ (t' - t')).$$

Ciò posto dimostriamo come la dilatazione cubica sia sempre tripla della dilatazione lineare.

Sia l la lunghezza di ciascuno spigolo di un cubo preso alla temperatura zero, ed n sia il coefficiente di dilatazione lineare della materia onde esso è formato. Se questo cubo passi alla temperatura di 1°, ciascuno dei suoi spigoli avrà una lunghezza espressa da

$$l\ (1 + n)$$

ed il volume del cubo sarà

$$l^3\ (1 + n)^3 = l^3\ (1 + 3n + 3n^2 + n^3) = l^3\ (1 + 3n),$$

trascurando i termini con n^2 ed n^3 perchè piccolissimi: l'aumento di volume dunque che il cubo ha ricevuto sarà espresso da

$$l^3(1 + 3n) - l^3 = l^3.3n$$

e quindi sarà

$$m = \frac{l^3.3n}{l^3} = 3n.$$

cioè subire in tutto dall'una all'altra stagione una variazione di 60°, essendo il coefficiente di dilatazione del ferro per 1° 0,0000118, per 60° sarà 0,000708; ciascuna linea dunque delle rotaie si allungherà di oltre a 70 metri dall'inverno all'estate. Se dunque le verghe che formano le rotaie fossero messe a contatto l'una presso l'altra senza que' piccoli intervalli che le separano, tutta la linea sarebbe sconcertata da' cangiamenti di temperatura.

Nelle coperture di piombo o di zinco, i quali hanno più grande ancora il loro coefficiente di dilatazione, non è raro vedere de' rigonfiamenti in estate e delle fenditure in inverno, quando le lamine non abbiano la libertà di potersi dilatare e restringere.

Se un termometro specialmente a grosso bulbo s'immerga prontamente in acqua molto calda si vedrà il liquido del termometro per un istante abbassarsi e poi salire; cotesto abbassamento deriva dall'essere il recipiente il primo a dilatarsi come quello che prima è dal calorico investito. Si tien per fermo da' fisici che un recipiente cresca tanto di capacità per quanto crescerebbe di volume un solido della stessa materia che lo riempisse interamente.

Una ingegnosa applicazione della dilatazione del restringimento fu fatta dall'ingegnere francese Dumolard per rimettere in sito le mura di sostegno o come diconsi i piedritti di una volta le quali per essere uscite alquanto dalla verticale avevano fatta nascere un apertura nella medesima. Fece egli passare attraverso di queste mura delle robuste verghe di ferro ritenute da fuori con viti e madreviti: mentre queste verghe si dilatavano perchè fatte appositamente riscaldare, ei faceva stringere da fuori le madreviti. Queste verghe nel raffreddarsi tiravan le mura con tanta forza per quanta ne sarebbe stata necessaria a far che esse stirate si distendessero egualmente essendo fredde.

Avrete veduto le cento volte come i fabbri di carrozze pongono i cerchi di ferro sulle ruote di legno riscaldandoli prima. In tal modo il cerchio si pone più agevolmente intorno alla ruota e poscia col raffreddarsi la stringe e vi rimane più strettamente congiunto.

Pendoli compensatori. Se la durata delle vibrazioni del pendolo segue la legge della radice quadrata della lunghezza del medesimo, ne segue che quando il pendolo è applicato alla misura del tempo allungandosi ed accorciandosi secondo le temperature non potrà conservare l'isocronismo delle sue vibrazioni. Ad onta di ciò fu nel male stesso trovato il rimedio, perocchè in diverse maniere combinando metalli di diversa dilatabilità si giunse a correggere l'errore e ad avere invariabile la distanza tra il centro di sospensione e quello di vibrazione a dispetto delle variazioni di temperatura. In varie maniere si è riuscito a compensare il pendolo, ma

noi ci contenteremo di additarne qui solamente due per farvi intendere la possibilità di siffatto compensamento anzicchè farvi una lezione tecnica sopra tale subbietto.

1.° In vece di fare l'asta del pendolo di un solo metallo supponete che si componga di due metalli di diversa dilatabilità, per esempio di ferro e zinco (fig. 98), ordinati nel modo seguente. Sia *e f g h* un telaio di verghe di ferro entro del quale ne stia un altro di verghe di zinco i cui lati verticali siano appoggiati sul lato *h g* inferiore del primo. Dalla metà del lato superiore *m n* di questo secondo telaio parta la verga *a b* di ferro la quale passi liberamente per un foro fatto nella verga orizzontale *h g*, e porti sospesa la lente *o* del pendolo. Dal mezzo dell'asta *e f* finalmente sorge l'altra verga *c d* di ferro per la quale il pendolo è sospeso. Or supponete che la temperatura si elevi, le verghe di ferro *e h*, *fg* ed *a b* allungandosi, il punto *o* che supponiamo essere il centro di vibrazione discende, ed il pendolo diviene più lungo; ma col dilatarsi delle verghe verticali di zinco del secondo telaio, il lato *m n* si eleva e con esso si eleverà eziandio il punto *o*; onde se le lunghezze delle verghe siano in ragione inversa delle loro dilatabilità, la distanza tra il punto di sospensione cd il centro di vibrazione potrà rimanere costante.

FIG. 98.



2. Se all'estremo del pendolo invece della lente metallica si ponga un vaso cilindrico con entro una buona quantità di mercurio, è chiaro che il centro di vibrazione per gli aumenti di temperatura scenderà da una parte per lo allungamento dell'asta del pendolo, ma dovrà elevarsi dall'altra per la dilatazione del mercurio, e per contro se l'asta del pendolo per freddo si accorcia, il livello del mercurio abbassandosi, il centro di vibrazione si troverà più basso e potrà aversi una lunghezza compensata (fig. 99).

FIG. 99.



FIG. 100

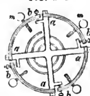


Le lamine compensatrici poi possono non solo esser adoperate per compensare i pendoli, ma eziandio i bilancieri de' cronometri, e si adoperano pe' termometri. Vediamo in prima in che consistano siffatte lamine. Immaginate (fig. 100) due lamine *r* e *z* saldamente insieme congiunte le quali siano di due metalli dotati di diversa dilatabilità, per esempio rame e zinco. Supponete che questa doppia lamina sia dritta alla temperatura di 15°; è chiaro che se la temperatura si elevi dovendosi lo zinco dilatare più del

rame, la doppia lamina non potrà più tenersi dritta, ma dovrà curvarsi in modo che lo zinco resti dalla parte convessa ed il rame dalla parte concava; il contrario dovrebbe intervenire per abbassamento di temperatura, perocchè il rame che meno si restringe dovrà rimanere dalla parte convessa. Quindi se questa lamina si fosse fatta curva in origine, col metallo più dilatabile dalla parte convessa, la sua curvatura si accrescerebbe col caldo e scemerebbe col freddo.

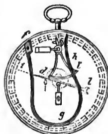
Vediamo ora come di queste lamine siasi fatto tesoro per compensare i bilancieri de' cronometri. Questi sebbene non compiano le loro vibrazioni per opera della gravità, ma sibbene di due molle, pure col dilatarsi rendono le loro vibrazioni più lente siccome le accelerano nel restringersi. Per togliere dunque questa cagione di errori, la circonferenza del bilanciere (fig. 101) si compone di quattro lamine compensatrici, le quali mentre i raggi *a*, *a* del bilanciere si allungano, curvandosi di più verso il centro mantengono l'isocronismo delle vibrazioni. Le masse d'oro a vite *m* servono a regolare la compensazione ed a mantenere il centro di gravità nell'asse di rotazione.

FIG. 101.



Termometro metallico a quadrante. Questo termometro è formato da una lamina di compensazione ricurva *fg h* di rame ed acciaro fermata in *f*, libera in *h* (*fig.* 102). Intorno di un asse gira una leva il cui braccio minore è sempre appoggiato all'estremo *h* della lamina. I piccoli moti della lamina urtando l'anzidetto braccio della leva appariscono ingranditi all'estremo del braccio lungo il quale è formato ad arco con denti che ingranano in quelli di un rocchello nel cui asse sta un indice *l i* che scorrendo sopra un quadrante rende anche più sensibili le variazioni di curvatura della lamina. L'indice va innanzi perchè il braccio piccolo della leva è urtato dalla lamina di compensazione, e quando la temperatura si abbassa retrocede per effetto di una molla spirale che nella figura si vede indicata. La graduazione si fa comparando questo con un termometro modello.

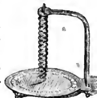
FIG. 102.



Termometro di Breguet. — Questo termometro è tra i più delicati perchè avendo poca massa riesce pronto nelle indicazioni, ed oltre a ciò può avere la scala con gradi molto estesi essendo a quadrante. Esso è formato da un piccol nastro metallico della larghez-

za di 1 a 2 millimetri avvolto ad elica nel modo dinotato dalla figura 103. La parte superiore dell' elica è fermata ad un pezzo di rame e la parte inferiore regge un indice orizzontale lungo e leggiero il quale può girare sulle divisioni di un quadrante. Questo quadrante è aperto nel mezzo affinchè l'aria possa liberamente circolare, e tutto lo strumento è coperto da una campana di vetro per ripararlo dalle agitazioni esteriori.

FIG. 103.



Il nastro metallico che forma la spira è composto di tre lamine soprapposte di argento oro e platino, l'oro ch'è nel mezzo fa l'uffizio di tenere congiunti gli altri due metalli. Da prima i tre metalli hanno una certa grossezza, ma passati insieme al laminatoio si riducono ad avere la grossezza di $1/60$ di millimetro. Dopo cio ognuno intende come per la natura della lamina compensatrice questo termometro debba riuscire molto squisito.

Ci ha anche altri termometri metallici come quello di Regner, quello di Brogniart ec.

Abbiamo detto esservi qualche rara eccezione alla legge della dilatazione de' corpi pel calorico, siccome si avverano eziandio delle anomalie. E veramente l'argilla col riscaldarsi si restringe in cambio di dilatarsi, nè per raffreddamento poi riprende il primitivo volume. In sulle prime potrebbe la diminuzione di volume derivare da una porzione di acqua che ancora contiene la quale passa in vapore, ed in fatto si ha una diminuzione di peso, ma per temperature più elevate non pare che si possa più ricorrere a questa spiegazione, avverandosi cotesto restringimento per temperature altissime; per cui si crede comunemente che avvenga una più intima unione fra i componenti che meccanicamente misti formano l'argilla quali sono la silice e l' allumina. Ma se un pezzo di argilla sia stato una volta esposto ad un forte calore e dopo raffreddato si torni a riscaldare, esso si dilaterà fino a che non giunga alla temperatura antecedentemente provata.

Da questa proprietà dell'argilla è derivata la formazione del pirometro di Wegdewood. Il termometro a mercurio non può venire adoperato che dentro certi limiti siccome di sopra notammo, ma oltre a quello che dicemmo è da avvertire che ancorchè la dilatazione procedesse sempre con uniformità, vi sarebbero delle temperature alle quali il termometro sarebbe distrutto sia per la conversione del liquido in vapore sia per la fusione dell'invoglio. Gli strumenti dunque ordinati a misurare temperature molto alte sogliono denominarsi *pirometri*. Ciò posto ecco il modo come è formato quello di Wegdewood. Sopra una lamina di ottone molto grossa sono appli-

cati due regoli dello stesso metallo inclinati tra loro in modo da formare un canale convergente cioè più largo da una parte e più stretto dall'altra. Fra questi regoli si pongono de' piccoli cilindri o coni tronchi di argilla della stessa indole ed asciugati col medesimo calore che Wegdewood ha fissato al *rosso nascente* ossia minimo grado di arroventamento, ed ha segnato con lo zero il punto in cui questi coni si arrestano: partendo da questo punto ha segnato 240 divisioni in uno de' regoli, e tiene che lo zero corrisponde a 580 del termometro centigrado, ed ogni grado pirometrico a 72° del termometro anzidetto. Dalle cose dette s'intende che quando il cono di argilla corrisponde allo zero della scala pirometrica, se venga esposto alla temperatura di un fornello per esempio e poscia rimesso nella scanalatura del pirometro, questo cono perchè ristretto scenderà più basso e corrisponderà ad un altro punto della scala.

Il legno col calore si dissecca, e però non si può conoscere se vada soggetto a dilatarsi. Le sostanze animali come per esempio la piuma, la pergamena, ec. generalmente col calore si contraggono, ma non si può dire se ciò derivi da perdite che soffrono nel disseccarsi o da una legge fisiologica secondo crede il Bichat.

Dilatazione de' liquidi — Ne' liquidi generalmente si tien conto della dilatazione cubica, ma dovendo essi contenersi in recipienti i quali parimenti si dilatano col caldo, ne segue che si osserverà solo la dilatazione apparente. Volendosi la dilatazione assoluta i fisici hanno cercato diversi metodi tra quali va certamente ricordato quello di Dulong e Petit. In due vasi di cristallo comunicanti si ponga un medesimo liquido e poi uno di questi vasi si circondi di neve ed un altro di acqua ad una temperatura di 100° per esempio, è chiaro che le altezze di livello dovranno essere in ragion reciproca delle due diverse densità che il liquido prender deve ne' due vasi per la diversa temperatura loro, siano quali si vogliano i diametri de' vasi. Or poichè la ragione inversa delle altezze rappresenta quella delle densità e la inversa delle densità quella de' volumi, questi saranno come le altezze, prendendo dunque le altezze in vece de' volumi, il coefficiente di dilatazione cubica si avrà dividendo la differenza delle due altezze per l'altezza del liquido nel vase mentovato a 0°.

Con questo metodo circondato da molte avvertenze necessarie per avere grande precisione, Dulong e Petit trovarono il coefficiente di dilatazione cubica del mercurio per 1° eguale ad

$$\frac{1}{5550} = 0,00018 \ (1)$$

(1) Posteriormente fu trovato essere $\frac{1}{6400}$ ovvero 0,000156.

esso è costante tra 0 e 100°, per cui passando alla temperatura di 100° cresce per $\frac{18}{1000}$ del suo volume a 0°.

L'acqua si dilata tra 0° e 100° quasi pel doppio del mercurio cioè per $\frac{43}{1000}$ del suo volume a 0°.

L'acquavite si dilata ancora di più, perocchè passando da 0° a 78,41 ch'è la temperatura di sua ebollizione si dilata per $\frac{91}{1000}$ del suo volume a 0.

Maggiore è la dilatazione dell' etere, ma cotesti liquidi non hanno costante il loro coefficiente di dilatazione almeno per le temperature superipri allo 0. Nell'acquarzente e nell' etere la dilatazione cresce dallo zero in sopra, ma nell'acqua si avvera un fenomeno assai singolare, di avere cioè un massimo di densità. Se fate un termometro a grosso bulbo e sottile cannello che abbia per liquido acqua distillata e postolo nella neve in liquefazione vi segniate lo zero, quando porterete questo termometro in un bagno la cui temperatura misurata con un buon termometro a mercurio passi gradatamente ad 1°, 2°, 3°, 4° sopra 0, vedrete l'acqua del termometro discendere invece di salire, ma si eleverà poi man mano quando il bagno passerà alle temperature di 5°, 6°, 7°, ec. in guisa che l'altezza della colonna viene ripassando nel salire per que' punti pe' quali passò discendendo alle temperature di 3°, 2°, 1°, 0°. L'acqua dunque dalla temperatura zero fino a quella di 4° invece di dilatarsi si restringe, e però a quest'ultima temperatura ha il minimo volume con la massima densità.

Da questa singolare anomalia che l'acqua presenta deriva la spiegazione di parecchi fenomeni. E primamente il vedere i grandi pezzi di ghiaccio nuotare sull'acqua ne' mari polari. In secondo luogo il trovarsi l'acqua ne' laghi de' climi molto freddi gelata ossia ridotta in ghiaccio alla superficie per una certa grossezza, ed intanto serbare nel fondo una temperatura di circa 4°. Perocchè l'acqua esposta alla superficie del lago giungendo alla temperatura di 4°, fatta più densa ha dovuto calare in fondo, e la meno densa ha dovuto venire in sua vece alla superficie per raffreddarsi a sua posta fino alla medesima temperatura e così appresso, fino a che tutte le falde di acqua siansi ridotte ad avere la medesima temperatura di circa 4°. Ora se il raffreddamento della superficie continua, l'acqua col raffreddarsi di più si dilata, e però rimane sopra fino a che, se il freddo continua, non si converta in ghiacchio il quale lentamente s'ingrossa restando l'acqua del fondo alla temperatura di circa 4°, nella quale vannosi a ricoverare i pesci.

Le fabbriche fresche si alterano co'geli invernali, le pietre istesse se sono molto inzuppate di acqua spesso si rompono, e ciò deriva dall'aumento di volume che l'acqua rinchiusa ne' pori di questi corpi deve subire per la congelazione.

Dilatazione de' fluidi aeriformi. Dalle sperienze del Volta e poi da quelle di Gay-Lussac fatte nel 1804 si conchiuse:

1.° Che tutti i fluidi elastici hanno lo stesso coefficiente di dilatazione quando si trovano sotto pressioni eguali.

2.° Che il comune loro coefficiente di dilatazione sia 0,00375, ovvero $\frac{1}{267}$, cioè che per ogni grado di elevazione di temperatura partendo da 0, il volume si accresca di $\frac{1}{267}$ in modo che cotesto volume diverrebbe doppio di quel che era a 0 passando alla temperatura di 267°, rimanendo sempre la pressione la stessa. Per cui passando un gas da 0 a 100°, il suo volume si accrescerebbe di $\frac{100}{267}$, poco meno di $\frac{1}{3}$.

Ma in questi ultimi tempi dalle investigazioni di Rudberg, Magnus, Regnault e Pouillet si è conchiuso, il coefficiente di dilatazione dell'aria atmosferica essere 0,00367, ovvero $\frac{1}{273}$, talchè il volume dell'aria diverrebbe doppio non già passando da 0 a 267°, ma da 0 a 273°. Regnault ha inoltre dimostrato esservi una piccolissima differenza tra i coefficienti di dilatazione de' varî gas, in guisa che quello dell'idrogeno sarebbe un poco più piccolo e quello dell'acido carbonico un poco più grande.

Alcuni fisici tra i quali Clement e Desormes, Cayley ec. (1) han creduto poter conchiudere che il zero assoluto sia a — 267, partendo dal coefficiente di dilatazione dato da Gay-Lussac, ma questa loro conclusione a noi pare senza fondamento.

Si tiene poi comunemente per fermo che l'aria si dilati sempre uniformemente sia quale si voglia la temperatura, e però il termometro ad aria si ha come il tipo de' termometri, non solo, ma quando l'aria sia rinchiusa in un invoglio che possa reggere all'azione del fuoco, la scala termometrica si potrà estendere indefinitamente. Muovendo da questo principio il Pouillet fece il suo pirometro ad aria, il quale consiste in un recipiente di platino con lungo collo dello stesso metallo che va poi ad innestarsi con un cannello

(1) *Journal de physique* t. 89. — *Annals of philosophys and physical Magazin.* Febbraio 1825.

ricurvo di vetro nel quale si contiene del mercurio. La branca *d* (*fig.* 104) è divisa in parti di eguale capacità ed è più lunga di un cannello da

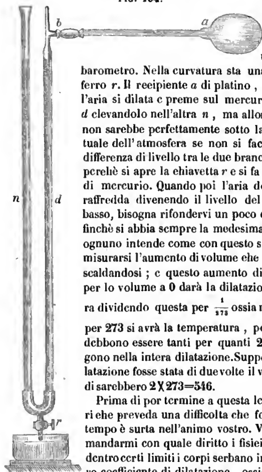


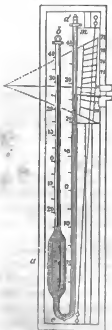
FIG. 104.

barometro. Nella curvatura sta una chiavetta di ferro *r*. Il recipiente *a* di platino, riscaldandosi, l'aria si dilata e preme sul mercurio della branca *d* elevandolo nell'altra *n*, ma allora l'aria calda non sarebbe perfettamente sotto la pressione attuale dell'atmosfera se non si facesse sparire la differenza di livello tra le due branche *n* e *d*, ecco perchè si apre la chiavetta *r* e si fa uscire un poco di mercurio. Quando poi l'aria del recipiente si raffredda divenendo il livello del braccio *n* più basso, bisogna rifondervi un poco di mercurio affinchè si abbia sempre la medesima pressione. Ora ognuno intende come con questo strumento possa misurarsi l'aumento di volume che l'aria riceve riscaldandosi; e questo aumento di volume diviso per lo volume a 0 darà la dilatazione cubica, allora dividendo questa per $\frac{1}{273}$ ossia moltiplicandolo per 273 si avrà la temperatura, perocchè i gradi debbono essere tanti per quanti 273^{mi} si contengono nella intera dilatazione. Supponete che la dilatazione fosse stata di due volte il volume a 0 i gradi sarebbero $2 \times 273 = 546$.

Prima di por termine a questa lezione è mestieri che preveda una difficolta che forse da qualche tempo è surta nell'animo vostro. Voi potreste domandarmi con quale diritto i fisici affermano che dentro certi limiti i corpi serbano invariabile il loro coefficiente di dilatazione, ossia che le dilatazioni ed i restringimenti siano proporzionali agli acquisti o alle perdite di calorico. Ed io vi risponderei che a rigore di termini è questa una pretensione ragionevole, ma non già una verità pienamente dimostrata, perocchè la dimostrazione che se ne dà è un vero circolo o una vera petizione di principio, o se vogliamo togliere sì brutte parole, diremo, la dimostrazione essere ipoteticamente vera. Conciosiachè è forza supporre che nel termometro a mercurio per esempio la dilatazione sia uniforme tra 0 e 100° quando si vuole

vedere se lo sia quella di un altro corpo. Il vedere d'altronde apparire delle variazioni almeno relative, ne' solidi all'avvicinarsi alla loro fusione, ne' liquidi quando si apparecchiano a bollire o a rendersi solidi, induce a credere che queste variazioni non esistano solo in relazione del corpo termoscopico col quale andavano le dilatazioni di accordo, ma che siano assolute. D'altra banda perchè l'aria riscaldandosi non deve subire un cangiamento di stato, non si suppone che abbia a cangiare la legge con la quale ha cominciato a dilatarsi. In una parola tutte le osservazioni insieme ragguagliate partorirono nell'animo de' fisici un certo convincimento contro del quale non sarebbe vietato venire col dubbio.

FIG. 105.



Simpiezometro di Bunten. — È questo uno strumento la cui mercè può misurarsi la pressione atmosferica. Esso andrebbe preferito al barometro, perchè essendo molto più picciolo sarebbe comodo pe'viaggiatori e si presterebbe meglio alle osservazioni in mare, se potesse vantare una precisione pari a quella di un buon barometro, che a me non pare abbia ancora conseguita, e se non presentasse ancora il difetto di perdere col tempo una porzione del liquido per evaporazione. Esso è composto da un termometro ad acquarzente *a b* (*fig.*105) nel cui bulbo trovasi un serbatoio d'aria *c* con un cannello che curvandosi in *e* si eleva verticalmente e rimane aperto dalla parte superiore *d*. Il cannello con la parte di sotto del serbatoio contiene olio di mandorle dolci colorito in rosso. Quest'olio da una parte è premuto dalla forza elastica dell'aria del serbatoio *c* e dall'altra della pressione atmosferica. Essendo l'aria contenuta nel serbatoio *c* circondata interamente dall'acquavite del termometro, la sua temperatura sarà con moltissima approssimazione misurata da questo.

Or poniamo per poco che cotesta temperatura non varii, l'olio nel cannello scenderà o si eleverà crescendo o scemando la pressione atmosferica, e per contro se la pressione resti la stessa l'olio si eleverà o si abbasserà per effetto della temperatura con la quale l'aria del serbatoio variar deve di volume. Per la qual cosa sarà possibile conoscendo l'effetto che deriva dalla temperatura determi-

nare quello che dalla pressione dipende. Ecco dunque come si procede alla graduazione di cotesto strumento. Scelto un momento in cui il barometro segna 760^{mm}, si pone il simpiezometro nella neve in liquefazione, si segna lo zero sulla scala del termometro e 750 di rincontro al punto ove corrisponde il livello dell'olio nella branca aperta del cannello: questo numero 760 si segna sopra una scala mobile *m* che si riscontra sulla scala fissa del termometro *a b*; mantenendo sempre la temperatura a 0, si faccia scemare la pressione per 30^{mm} dell'aria sull'olio dalla parte del cannello aperto, si noti il punto dove l'olio elevandosi si ferma, e si segni con 730 sulla scala mobile la quale è rimasta nel medesimo luogo. L'intervallo che resta tra 760 e 730 si divida in 30 parti eguali, e ciascuna corrisponderà ad un millimetro di mercurio, ossia che, rimanendo la temperatura la stessa, quando il livello dell'olio nel cannello aperto corrisponde alle divisioni 740 o 750 della scala del termometro, se ne conchiude che la pressione atmosferica sia di 740 o 750 millimetri di mercurio. Ciò posto si aumenti la pressione sulla superficie libera dell'olio per altri 30^{mm}, essendo sempre la temperatura la stessa, e si segni sulla scala mobile con 790 il punto ove l'olio discende, e l'intervallo che passa tra 790 e 760, il quale è poco meno di quello che passa tra 760 e 730, si divida parimenti in 30 parti ciascuna delle quali corrisponderà ad un millimetro di mercurio.

In tal modo graduato lo strumento potrà dare la misura della pressione atmosferica quando la temperatura dell'ambiente sia a 0. E veramente riscontrata la scala mobile con la scala fissa basterà vedere il livello dell'olio nel braccio aperto a qual numero corrisponde in quella per avere la misura della pressione.

Ma dovendo lo strumento essere adoperato a diverse temperature è mestieri rifare la graduazione per una seconda temperatura, e poniamo che sia di 15°, procedendo nel modo che di sopra è detto per la temperatura 0. Se non che dopo di aver riscontrata la scala fissa delle temperature in modo che il numero 760 de' 15° coincida con quello di 0, ne avverrà che i 730 e 790 de' 15° sian poco più lontani dall'una e dell'altra parte, e però converrà scrivere cotesti numeri sopra un'altra linea verticale della scala mobile segnandovi 15 dalla parte di sopra per indicare ch'essa corrisponde a siffatta temperatura. Or se si congiungono con due linee oblblique i due punti segnati 730 e gli altri segnati 790, ne verrà un trapezio i cui lati verticali sono paralleli, e sopra i cui lati obbliqui si potranno segnare le temperature comprese tra 0 e 15°; e producendo questi lati del trapezio si potrà estendere la graduazione a temperature inferiori a 0 o superiori a 15.°

La sensibilità de' lunghi gradi si ha in questo strumento maggiore se più grande è il serbatoio d'aria e più angusto il cannello.

LEZIONE III.

DELLA DENSITA' DE' CORPI E DE' METODI PER DETERMINARLA.

La densità, siccome altrove fu detto è la ragione della massa al volume di un corpo, e prendendo la massa come proporzionale al peso potremo dire, la densità di un corpo essere *la ragione che passa tra il peso ed il volume del medesimo.* La densità così definita dicesi anche gravità specifica o peso specifico del corpo. Se voi conosceste il diverso peso di tutt'i corpi sotto lo stesso volume, avreste già la cognizione delle loro densità in una maniera relativa; ma i fisici hanno amato di determinare la gravità specifica de' corpi in una maniera che può dirsi assoluta, misurandola cioè per mezzo di una unità convenuta: questa unità di densità mercè la quale tutte le altre si esprimono, pe' solidi e pe' liquidi è l'acqua distillata e pe' fluidi aeriformi è l'aria. Per la qual cosa quando trovate detto per esempio, che la densità del platino è 22 ad un dipresso, ciò vuol dire che questo metallo pesa circa 22 volte più dell'acqua distillata.

Ma per le cose innanzi discorse segue che il medesimo corpo deve avere densità diverse a diverse temperature, e però conviene che le densità de' corpi si determinino, considerandoli tutti ad una medesima temperatura: pe' fluidi aeriformi poi non solo deve la temperatura essere la stessa, ma debbono eziandio considerarsi sotto la medesima pressione, perocchè essi variano di densità al variare delle pressioni secondo la legge di Mariotte. I fisici han convenuto di scegliere la temperatura 0 per tutt'i corpi, e la pressione media dell'atmosfera ossia 760^{mm} pe' fluidi elastici. Solo l'acqua che serve di termine di paragone per le densità de' fluidi e de' liquidi si suol prendere alla temperatura di $4°$ alla quale essa ha la maggiore densità, siccome innanzi fu dimostrato, giacchè alla temperatura 0 essa ha una densità pari a quella che avrebbe alla temperatura di circa 17 (1).

Gravità specifica de' fluidi aerei. Prendasi un globo di vetro e vuotatolo d'aria si pesi, indi si ripesi successivamente pieno di aria e di quel gas di cui si vuol conoscere la densità. Se il vuoto potesse farsi perfetto, se si potesse avere questi fluidi sotto la stessa

(1) Per le densità dell'acqua a diverse temperature V. il Pouillet.

pressione ed alla stessa temperatura, sarebbe molto agevole conoscere la densità del fluido elastico per rispetto a quella dell'aria, perocchè essendo i volumi eguali la densità si avrebbe dividendo il primo peso pel secondo. Ma non passandosi quasi mai le cose perfettamente così, son necessarie parecchie correzioni intorno alle quali non c'intratterremo (1).

La densità dell'aria per rispetto a quella dell'acqua poi è di $\frac{1}{770}$ circa, ossia a volumi eguali l'acqua pesa 770 volte più dell'aria, ed il mercurio 10476.

Un litro d'aria pesa presso a poco 1^{gr}, 2995. Per la qual cosa volendo sapere il peso d'un litro di un gas di cui si conosca la densità non si dovrà fare altro che moltiplicare il numero che esprime siffatta densità per 1, 3995 (2).

La densità del vapore acqueo è di 0, 623 e fu determinata da Gay-Lussac con un metodo tutto particolare.

Densità de' liquidi. — La densità de' liquidi suolsi determinare principalmente per tre modi: 1° col peso diretto, 2° con la bilancia idrostatica, 3° con l'areometro.

1° Si prenda un fiasco di vetro sottile e leggiero, con orifizio e turacciolo bene smerigliati. Si pesi il fiasco prima voto e poi pieno d'acqua alla temperatura di 0°, la differenza darà il peso dell'acqua. Indi si pesi il fiasco pieno del liquido di cui si vuol conoscere la densità preso anche alla temperatura 0, la differenza tra questo peso e quello del fiasco vuoto dinoterà il peso del liquido; dividendo dunque il peso del liquido per quello dell' egual volume d'acqua si avrà la densità che si cercava. Se l'acqua si prendesse alla temperatura di 4° il vase si dilaterebbe ed i volumi non sarebbero più perfettamente eguali.

2° Volendo poi fare uso della bilancia idrostatica, si sospenderà un solido sotto una delle coppe della medesima, e poi dopo di averlo pesato nell'aria si peserà nell'acqua e nel liquido di cui si vuol conoscere la gravità specifica, i pesi perduti rappresenteranno quelli di eguali volumi de'due liquidi anzidetti, e però dividen-

(1) V. il Pouillet.

(2) Se due gas si combinino insieme, ci ha un nesso tra la densità del composto e quella de'componenti espresso dalla formola

$$\Delta = \frac{n\,d + n'\,d'}{v},$$

nella quale d e d' dinotano le densite de'due gas per rispetto all' aria, n ed n' i numeri di volumi de'medesimi che entrano in combinazione, v il volume del composto e Δ la densità del medesimo per rispetto all' aria, prendendo per unità di peso quello dell'unità di volume dell'aria.

do il secondo pel primo si avrà le densità che si domandava. Operando a diverse temperature converrebbe correggere col calcolo i risultamenti dell'esperienza.

3° Gli *areometri* finalmente sono de'galleggianti la cui mercè si conosce la densità de'liquidi ne'quali si pongono. Ce n'ha di due maniere, a *peso variabile* ed a *volume variabile*.

L'areometro a peso variabile (*fig.* 106) è formato da un asticella sottile terminata dalla parte di sopra da un piattello *c* e dalle parte di sotto da un grosso rigonfiamento *v* sotto del quale in *l* sta la zovarra ossia un poco di mercurio o alcuni pallini di piombo, che servono a mantenere dritto lo strumento ne'liquidi(1). Nel mezzo dell'asticella o collo dello strumento è segnata una linea *f*.

FIG. 106.



Posto quest'areometro nell'acqua distillata. Si carichi il piattello con tanti pesi che bastino ad immergerlo fino alla linea *f*, è chiaro che il peso dell'areometro insieme co'pesi posti sul piattello rappresenteranno il peso di un volume d'acqua eguale alla porzione immersa dello strumento: fatta la stessa operazione in un altro liquido si conoscerà il peso di un egual volume di questo. e però la densità si avrà dividendo il secondo peso pel primo. Questo strumento può esser di vetro e di metallo, e la sua sensibilità è maggiore se più grande è il volume del ringonfiamento *v* e più sottile è l'asticella.



FIG. 107.

L'areometro a volume variabile (*fig.* 107) consiste in un cannello di vetro che termina nella parte di sotto in un rigonfiamento al di sotto del quale ci ha un altro piccolo bulbo contenente la zovarra di pallini di piombo o di alcune gocce di mercurio. Per le cose dette intorno all'equilibrio de'galleggianti è chiaro che questo menato in liquidi di diversa densità s'immergerà meno se sono più densi e più se sono meno densi, ossia che le porzioni immerse sono in ragione reciproca delle densità de' liquidi. Per la qual cosa ponendo nell'interno del cannello una scala di carta, questa sarà regolata in modo che la densità del liquido sia espressa dal numero che corrisponde al livello del medesimo. Il punto ove corrisponde il livello dell'acqua è segnato con 1000.

(1) Il piccolo paniere *a* che vedete tra il rigonfiamento o corpo dell'areometro e la zavorra serve quando si deve determinare la densità de'solidi. Questo strumento è conosciuto generalmente col nome di areometro di Nicolson.

Ci ha de'liquidi che son da reputare tanto più buoni per quanto sono più densi, quali sono gli sciroppi, gli acidi, le soluzioni saline ec., ed altri che sono migliori ovvero più puri se sono meno densi come interviene all'acquavite. Saggiando dunque per siffatti liquidi la densità si può venire in cognizione della bontà de' medesimi. E poichè con l'areometro la densità si conosce molto speditamente, così viene in tali casi adoperato come strumento di commercio.

La scala però è varia secondo i liquidi pe'quali è destinato e quindi si hanno i così detti *pesaliquori* che il volgo denomina *provette.*

L'*Areometro di Beaumé* è ordinato a saggiare gli acidi: esso è un areometro a volume variabile. Il zero della scala corrisponde al punto fin dove lo strumento s'immerge nell'acqua, e poi si segna con 15 il punto fin dove s'immerge in un mescuglio di 85 parti di acqua e 15 di sal comune. L'intervallo tra questi due punti si divide in 15 parti, e la scala si continua al di sotto.

Con le medesime regole fannosi le graduazioni agli areometri per saggiare altri liquidi. L'areometro per l'acquavite per esempio ha segnato 10° nel punto d'immersione nell'acqua distillata e 0 in un mescuglio di 90 parti di acqua e 10 di sale.

L'intervallo è diviso in 10 parti eguali e la scala è continuata al di sopra.

Gay-Lussac fece un areometro per l'acquavite detto *centesimale*, assai meglio immaginato, perocchè esso fa conoscere in che proporzione l'acqua sta all'acquavite non perfettamente priva di acqua, o non interamente anidra come dicono i chimici. Egli dunque segnò con lo zero il puntō d' immersione nell'acqua e con cento quello nell'acquavite purissima, dividendo l'intervallo in 100 parti eguali. Onde se lo strumento menato nell' acquavite del commercio si arrestasse per esempio ad 80.°, se ne conchiuderebbe che quest'acquavite contiene 20 parti di acqua ossia il 20 per 100.

In alcuni paesi usano l'areometro anche per saggiare il mosto, e non son mancati de' tentativi per applicarlo alla disamina del latte, ma in tutti que' casi ne' quali la densità non basta a diffinire le altre qnalità, buone o ree che un liquido potrebbe per avventura tenere con se, l'aerometro come strumento di commercio riesce insufficiente.

Densità de' solidi. La densità de'corpi solidi suolsi comunemente determinare anche per tre modi: 1.° mercè la boccia turata, 2.° coll'areometro, 3.° con la bilancia idrostatica.

1.° Si prenda una boccia ad orifizio largo perfettamente conico circolare con turacciolo bene smerigliato, e si pesi piena di acqua distillata; indi nella stessa coppa della bilancia insieme con la boccia pongasi il solido di cui si vuol conoscere la densità, e si ripesi,

la differenza tra questo ed il peso antecedente sarà il peso del solido. Tolto finalmente il turacciolo s' introduca nella boccia il solido,il quale farà uscire un volume di acqua pari al suo, per cui ripesando,la differenza tra quest'ultimo peso ed il secondo esprimerà il peso del volume d'acqua pari a quello del solido. Sapendosi dunque i due pesi sotto lo stesso volume,dividendo l'uno per l'altro si avrà la densità del solido.

L'areometro poi che si adopera pe' solidi è quello a volume variabile di sopra descritto.

FIG. 108.



Supponete che messo lo strumento nell'acqua distillata esso s'immerga fino alla linea *f* quando il piattello sia gravato di 24 grammi, e che postovi un solido ci vogliano soli 18 grammi per mantenere lo strumento immerso fino allo stesso segno, è chiaro che questo solido peserà 6 grammi. Or tolto il solido dal piattello si ponga nel piccolo paniere *a* che sta sotto lo strumento nell'acqua, l'areometro si solleverà alquanto per la perdita di peso sofferta dal solido, e supposto che con due grammi aggiunti sul piattello l'areometro discenda nel liquido sino al punto segnato, se ne conchiuderà che un volume d'acqua pari a quello del solido avrà il peso di due grammi, onde dividendo 6 per 2 si avrà 3 per gravità specifica del solido assoggettato all'esperienza.

Se il solido fosse specificamente meno denso dell'acqua sarebbe mestieri sospendere il paniere pel fondo affinchè il corpo non potesse venire a galla.

L'areometro a peso variabile potrebbe essere adoperato a saggiare le monete specialmente di oro. La moneta può esser falsa o perchè non ha il peso legale, o perchè non ha il titolo legale, in questo secondo caso avendo il peso legale avrà un volume diverso dalla moneta vera, perchè ha una diversa densità,quindi basterebbe notare fin dove l'areometro s'immerge nell'acqua quando una moneta vera si trovi nel paniere, un altra dello stesso peso che non facesse immergere lo strumento fino a qual punto dovrebbe reputarsi falsa.

La bilancia idrostatica finalmente può darci la gravità specifica de' solidi. E veramente fate che il corpo si trovi sospeso sotto uno de' gusci di cotesta bilancia, e che dopo di averlo pesato nell'aria lo pesiate nell'acqua, il peso perduto dinoterà il peso di un egual volume di questo liquido, e però la densità del solido sarà espressa dal suo peso diviso pel peso perduto nell'acqua.

Se si trattasse di corpi solidi solubili nell'acqua, si peserebbero in un altro liquido di conosciuta densità come olio,etere ec.

Pe' corpi in polvere si può usare il metodo della boccia turata, ma con alcune avvertenze per espellere l'aria che in essi si trova. Pe' corpi porosi conviene aggiungere al peso perduto dal corpo nell'acqua quello dell'acqua di cui esso è imbevuto, il che si consegue pesando il corpo subito dopo che si è tolto dall'acqua, sebbene non si possa avere così molta precisione, ma si può anche usare qualche altro mezzo rivestendo per esempio il corpo di un involglio impermeabile ec.

Quando importasse conoscere la capacità di un vase vi si può riuscire pesandolo prima vuoto e poi pieno di acqua alla temperatura di 4°, allora il vaso avrà tanti centimetri cubici di volume per quanti grammi di peso avrà l'acqua che contiene.

LEZIONE IV.

CANGIAMENTO DI STATO — FUSIONE E RITORNO ALLO STATO SOLIDO.

Un medesimo corpo sotto lo stesso peso si ritiene, almeno dentro certi limiti, che assorba quantità di calorico proporzionali alle temperature se si riscalda, o che ne perda ancora in proporzione delle temperature se si raffredda; questo si argomenta dal vedere, per esempio, che prendendo un chilogrammo di acqua alla temperatura 0 e mescolandolo ad una eguale quantità del medesimo liquido alla temperatura di 2° si hanno due chilogrammi di acqua alla temperatura di 1.°

La quantità di calorico necessaria per far passare un chilogrammo di acqua da 0 ad 1° si è da' francesi detta *caloria* o anche unità di calorico. Se un chilogrammo di acqua dunque passa da 0 a 20° si dirà che assorbe 20 unità di calorico, e per contro si dirà che ne perde altrettante se passa da 20° a 0. Per la qual cosa 10 chilogrammi di acqua che sian passati da 0 a 20° avranno assorbite 200 unità di calorico. Ma se per egualmente riscaldare o raffreddare pesi eguali di un medesimo corpo bisogna aggiungere o togliere quantità di calorico eguali, e nel caso che abbiano pesi diversi, quantità di calorico proporzionali a' pesi, non così le cose si passano quando i corpi siano diversi, perocchè l'esperienza dimostra che per dare temperature eguali a due corpi diversi che abbiano lo stesso peso ci vogliono quantità di calorico dissuguali, *e le diverse quantità di calorico necessarie affinchè i diversi corpi sotto lo stesso peso acquistino o perdano la stessa temperatura* costituiscono il *calorico specifico* de' medesimi; cosicchè il calorico specifico di un corpo può definirsi il numero delle unità di calorico che si richiedono

per elevare di 1° l' unità di peso del medesimo. Dalle cose dette s'intende che il calorico specifico dell'acqua si può prendere per unità, prendendo il chilogrammo per unità di peso, e però quando si dice che il calorico specifico del mercurio è $\frac{1}{30}$ s'intende che per elevare un chilogrammo di mercurio da 0° ad 1° ci vuole la 30ma parte di quel calorico che eleverebbe di 1° un chilogrammo di acqua. E veramente se mescolate insieme un chilogrammo di acqua a 31° con un chilogrammo di mercurio a 0, avrete nel miscuglio una temperatura di circa 30°; con una unità di calore dunque perduta dall'acqua il mercurio ha acquistato una temperatura di 30, e però se due eguali quantità di acqua e di mercurio passino da 0 ad un grado le unità di calorico assorbite saranno come 30 ad 1.

La quantità di calorico che un corpo sotto l'unità di peso deve assorbire per passare da 0 ad un grado dicesi capacità di esso corpo pel calorico, e però il calorico specifico è la misura della capacità.

Per le temperature comprese tra 0 e 100 si può generalmente dire che la capacità di un corpo pel calorico è la stessa, ma non così per temperature più elevate siccome interviene al mercurio il quale assorbe più calorico nel passare da 299 a 300, che per passare da 0 ad 1°. La capacità poi varia per variare di densità di un medesimo corpo ed in conseguenza molto di più se questo muta stato. Ma de' metodi per determinare il calorico specifico, o la capacità de' corpi pel calorico discorreremo a parte, siccome si è detto. Veniamo ora ad indicare il calorico latente di cui si deve anche tener ragione nello studio del cangiamento di stato de' corpi.

Prendete un chilogrammo di ghiaccio alla temperatura 0, versatevi sopra un chilogrammo di acqua calda a 79° ed avrete per risultamento due chilogrammi di acqua alla temperatura 0°. I 79° di calorico liberi dunque sono spariti, ed il chilogrammo di ghiaccio si è fuso assorbendoli ossia riducendo a 0 l'acqua che era a 79°: questo calorico che rimane in certo modo dissimulato e come ascoso nel liquido senza mostrarsi al termometro, dicesi *calorico latente*. Ora noi vedremo come ogni corpo che passi dallo stato solido allo stato liquido o da questo allo stato di fluido aereo assorbe calorico il quale diviene latente, e come questo calorico assorbito si svolga nel tornare che fa il corpo dallo stato di fluido aeriforme allo stato liquido, o da questo allo stato solido.

Ciò posto, il passaggio di un corpo da solido in liquido che dicesi fusione o liquefazione è opera del calorico. Voi potete ridurre un solido in polvere impalpabile con mezzi puramente meccanici, ma non lo convertirete in liquido senza elevare convenientemente

la sua temperatura. Ci ha de'corpi che si fondono a temperature molto basse e però si trovano liquidi in natura, come il mercurio, l'acqua ec.; altri domandano temperature alquanto più elevate, come la cera, il sego e simili, e così man mano fino a quelli che si fondono a temperature altissime, siccome interviene di parecchi metalli: ma ci ha de'corpi in natura detti *infusibili* o *refrattarii*, perchè non siamo ancora riusciti a fonderli, quali sarebbero per esempio l'argilla il carbone ec., sebbene quest'ultimo abbia in qualche caso mostrato tracce di fusione anche sotto la forma più nobile che assumer suole in natura, ch'è quella del diamante; pare per altro assai probabile che questi ultimi corpi siano infusibili solo relativamente a' nostri mezzi e non in una maniera assoluta.

Ci ha poi de'corpi i quali ad una certa temperatura si scompongono passando alcuni de'loro componenti allo stato aeriforme od entrando in combinazione con alcuno de' componenti dell'aria, e così non si possono avere allo stato liquido. La pietra calcarea per esempio perde nelle calcaje l'acido carbonico, e rimane la calce ch'è un ossido, ma Hall potè avere il marmo fuso impedendo all'acido carbonico di svolgersi. Il carbone ad una certa temperatura, per l'affinità che ha con l'ossigeno, si converte in gas acido carbonico senza passare per lo stato liquido.

Due intanto sono le condizioni della fusione.

1. Ogni corpo per fondersi ha bisogno di esser portato ad una temperatura la quale varia da un corpo all'altro, ma è invariabile per ciascun corpo, ossia ogni corpo ha la sua temperatura di fusione.

2. Ci deve essere assorbimento di una determinata quantità di calorico latente, secondo la natura del corpo che si fonde. E per fermo, si osserva che la massa del corpo che si espone alla fusione si riscalda ossia accresce di temperatura fino a che comincia a fondersi, ma poi questa temperatura rimane stazionaria durante tutto il tempo della fusione, il che chiaramente dimostra, che tutto il calorico che il corpo riceve durante il suo cangiamento di stato diviene latente nel liquido.

Alla seconda di queste due condizioni non ci ha eccezione di sorta, vale a dire che sarà impossibile far che un solido liquido divenga senza quella quantità di calorico che secondo la sua natura deve assorbire; ma è possibile avere delle eccezioni alla prima, ossia si può ottenere la fusione di un corpo solido ad una temperatura più bassa di quella che gli competerebbe, e ciò mercè l'affinità del medesimo con un altro; è questa l'origine de'*mescugli frigorifici* e de'*fondenti*. Se nell'acquavite pura o aindra raffreddata fino ad 8 in 10° sotto 0 voi menate de' frammenti di ghiaccio questi

si fonderanno ed il liquido diverrà più freddo per lo calorico latente assorbito dal ghiaccio che si è fuso. Simili risultamenti si avranno dalla neve nell'acido solforico.

Con questo principio si dà ragione della bassa temperatura cui si portano i sorbetti mescolando la neve col sal comune.

Il solfato ed il fosfato di soda che contengono molta acqua di cristallizzarne la quale è allo stato solido, uniti all'acido solforico o cloroidrico si sciolgono e generano un freddo da poter fare dei sorbetti senza l'uso della neve.

Quantunque la neve sia un vero fondente del sal comune, pure si è serbato questo nome a dinotare le sostanze che facilitano le fusioni che si eseguono a temperature molto elevate. Così la silice si fonde mercè la soda o la potassa.

Affinchè un corpo liquido si rappigli ossia si converta in solido anche due condizioni è mestieri che si avverino le quali sono inverse delle due delle quali di sopra è detto in proposito della fusione: deve cioè il liquido perdere l'eccesso di temperatura che ha per rispetto a quella di fusione, e conviene che pervenuto a questo punto, senza mutar di temperatura, perda tutto il calorico latente che assorbì nel diventare liquido. Così l'acqua per esempio è mestieri che prima giunga alla temperatura 0, e che perda poi tutto il *calorico di fluidità*, cioè quello la cui mercè essa è liquida, ovvero che avrebbe assorbito se da neve si fosse convertita in acqua. Ma cotesta perdita non potendosi fare in un attimo, ne segue che si avvera prima in quelle parti che sono più esposte al freddo e poi man mano vengano congelandosi le altre con maggiore difficoltà, dovendo spacciare il loro calorico attraverso del ghiaccio.

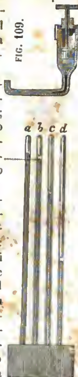
Quando i corpi da liquidi si convertono in solidi gli atomi e le molecole tendono a prendere delle disposizioni e degli ordinamenti particolari per cui si compongono delle figure geometriche che hanno ricevuto generalmente il nome di cristalli, ma noi ne diremo qualche cosa in proposito delle azioni molecolari.

LEZIONE V.

DE'VAPORI NEL VUOTO E DELLA MASSIMA LORO TENSIONE.

Che i liquidi passino allo stato aeriforme è noto a chiunque abbia veduto l'acqua a poco a poco sparire da un vase aperto che la conteneva, disseccarsi il terreno dopo le piogge, i panni bagnati asciugarsi ec. Prendete una piccola quantità di etere gittatela in aria e spesso la vedrete sparire, senza che una sola goccia ne giunga sul suolo.

I vapori generalmente si formano alla superficie de' liquidi, ma con la ebullizione essi più rapidamente si svolgono dal seno dei medesimi. Bramo innanzi tutto che non confondiate i vapori propriamente detti che sono veri fluidi aeriformi, col fumo che rappresenta uno stato intermedio, ed è una evaporazione incompiuta, o meglio, la transizione dallo stato aeriforme allo stato liquido. I vapori acquei per esempio sono invisibili e non tolgono la trasparenza all'aria che li contiene. Il vapore che esce per le animelle o valvole di sicurezza nelle caldaie a vapore vi si mostra come un fumo bianco, ma se poteste cacciare il capo entro la caldaia, o se poteste guardare attraverso alle sue pareti, il vapore dentro di questa sarebbe affatto invisibile. Se prendasi infatti un piccolo recipiente di vetro a grosse pareti con entro un poco di acqua e ben chiuso, e si faccia gradatamente riscaldare, si vedrà l'acqua in esso contenuta a poco a poco sparire perchè ridotta in vapore, senza far perdere allo spazio la sua trasparenza, ma come prima questo recipiente comincia a raffreddarsi tosto il suo interno si annebbia e l'acqua si vede ricomparire deposta sul fondo e sulle pareti del medesimo. Quella nebbia dunque rappresenta il vapore che dallo stato aeriforme si riduce nuovamente in liquido.



Un tempo credevasi che i liquidi si convertissero in vapori per una virtù dissolvente dell'aria, appunto come interviene de'sali per rispetto all'acqua; ma pare che Dalton nel principio di questo secolo abbia dimostrato esser l'aria di ostacolo alla pronta evaporazione de'liquidi, onde oggi si tien per vera la seguente proposizione: *I vapori si formano lentamente nell' aria e prontamente nel vuoto.*

Il modo di rendere aperta questa verità è semplicissimo. Prendasi un cannello *a* di vetro si empia di mercurio e si capovolga nel sottoposto pozzetto (*fig.* 109) in modo da farne un vero barometro: indi se ne prepari un secondo *b* il quale dopo di averlo quasi pieno di mercurio si finisca di empire con un poco di acqua, e poscia si capovolga nel medesimo pozzetto, l'acqua monterà su perchè più leggiera del mercurio e tosto si vedrà questa scemare un poco del suo volume ed il mercurio abbassarsi di 10 in 15^{mm}. La pronta diminuzione dell'acqua e l'abbassamento del mercurio dicon chiaro che nel vuoto barometrico una porzione di acqua si è convertita rapidamente in vapore, e che questo ha una forza

elastica o tensione come quella di ogni altro fluido aeriforme. Se in altri cannelli come c e d ponganzi altri liquidi sul mercurio, come p.e. acquavite ed etere solforico, si osserverà lo stesso fenomeno, ma nell'acquavite meglio che nell' acqua, e nell'etere meglio che nell' acquavite, di maniera che il mercurio si abbasserà per 50 in 60^{mm} in c, e di oltre a 200 in d: il che dimostra come sia diversa la elasticità o la forza espansiva de' vapori di liquidi diversi, e quindi si apprende un modo assai spedito di paragonare queste diverse forze espresse in centimetri e millimetri di mercurio.

Il vapore intanto così spontaneamente formato nel vuoto barometrico è indefinitamente compressibile, perocchè giunge ad una certa densità ch'è la massima di cui è capace ed alla quale possiede per

FIG. 110.



conseguenza una *tensione massima*, talchè se venga compresso oltre di questo termine, invece di crescere in densità e tensione si convertirà in parte in liquido, e quel che resta avrà la stessa densità di prima. E per fermo, prendete un cannello a b (*fig.* 110) come quelli da barometro ma molto più lungo dell'usato, e dopo di averlo empito in gran parte di mercurio finitelo di empire con un poco di etere, per esempio, e dopo capovolgetelo in un pozzetto molto profondo c d, vedrete nel modo che di sopra è detto l'etere montare sul mercurio e prontamente scemar di volume, deprimendo la colonna liquida: supponete, per fissar le idee, che questa si tenga alta di 20 pollici, mentre nel vero barometro sta a 28, ciò vuol dire che la forza elastica del vapore che si è svolto nello spazio barometrico sul mercurio equivale ad 8 pollici di questo. Ora tirate il cannello in alto da rendere l'anzidetto spazio più grande, voi vedrete l'etere scemare sempre più di volume e la colonna di mercurio tenersi costantemente alla stessa altezza, il che vuol dire che il vapore si riduce continuamente alla stessa densità; ma alzando sempre il cannello giungerete finalmente a fare sparire l'etere convertito tutto in vapore; da questo momento se alzate di più vedrete la colonna di mercurio elevarsi in ragione che il vapore più si espande, nè si trova un termine di cotesta virtù espansiva. Ma calando invece il cannello, si osserva la colonna di mercurio che discende in ragione che il vapore nuovamente si addensa, e ciò fino a

che abbia ripreso la sua antica altezza di 20 pollici per noi supposta: ora poi col tuffare di più il cannello l'etere si vedrà ricomparire senza che l'altezza del mercurio si cangi; il che vuol dire che il vapore non variando temperatura non può per pressione acquistare una densità maggiore di quella che avea presa da prima, e quindi neppure una maggiore tensione: esso dunque ha un massimo di densità cui naturalmente perviene, ed ogni sforzo per aumentarla torna vano, perocchè il vapore si muta in liquido anzichè tollerare una densità maggiore di quella cui da se solo pervenne.

Quando in uno spazio il vapore si è ridotto alla densità o tensione massima questo spazio dicesi *saturo di vapore*, vale a dire incapace di riceverne altro del medesimo liquido, per cui in questo spazio non è possibile che intervenga nuova evaporazione. Per la qual cosa quando si tura bene un vase che contiene un liquido specialmente se sia molto volatile, questo liquido si conserverà, perchè dopo che si è saturato lo spazio soprapposto al medesimo la evaporazione rimane impedita. Ma conviene avvertire che tutto questo è vero supponendo la temperatura sempre la stessa, perocchè il massimo di densità o di tensione di cui si parla è relativo alle temperature, e però per un medesimo liquido ci ha un massimo o una saturazione per ogni temperatura, e questo massimo diviene maggiore a temperature più elevate secondo che appresso si dirà. Laonde uno spazio il quale sia saturo alla temperatura 0 per esempio, portato ad una temperatura più elevata non sarà più saturo, ma sarà atto a ricevere nuovo vapore e si avrà una tensione più grande: vale a dire che questo spazio il quale sarebbesi detto umido al massimo grado, diverrebbe relativamente secco per sola elevazione di temperatura, quantunque assolutamente la umidità sia la stessa perchè contiene la stessa quantità di liquido svolto in vapore. Ma se in questo spazio in cui la temperatura si eleva ci sia del liquido da potersi svolgere in vapore, esso spazio si saturerà e sarà assolutamente più umido di prima, avendo la stessa umidità relativa.

Se dunque uno spazio ch'era saturo ad una data temperatura si riscaldi senza che ci sia altro liquido, esso diventerà per questo solo non più saturo, e tornerà ad esserlo se nuovamente si raffreddi. E però uno spazio può diventare relativamente umido o secco sol che la temperatura si abbassi o si elevi.

È chiaro finalmente che se uno spazio per elevazione di temperatura ha potuto successivamente ricevere nuove quantità di vapore, quando poi questa temperatura gradatamente si abbassa il

vapore dovrà in parte ritornare allo stato liquido, ed allora si ha il fumo o la nebbia che fin da principio vi diceva non dover voi confondere col vapore elastico propriamente detto. Quel fumo o quella nebbia si suol dire vapore di *soppressaturazione*.

Laonde uno spazio che non è saturo voi potete farlo divenir tale per tre modi, o porgendogli nuovo liquido, restando la temperatura la stessa, o raffreddandolo convenientemente, o finalmente restringendolo.

Quindi s'intende perchè il fuoco si dice che espella l'umido negli accampamenti militari o in altri casi somiglianti, siccome nella seguente lezione più opportunamente si dirà.

Premesse tali cose intenderete perchè scoperchiando un vase in cui bolle l'acqua ne vedete tosto annebbiato lo spazio superiore al liquido, perchè l'alito ne' tempi freddi prende l'aspetto di fumo, e sulle superficie levigate quello di rugiada, perchè versando il vino sulla neve nel bicchiere vedete apparire una nubecola o fumo leggiero, e per tacere di mille altri fenomeni, perchè si depone la rugiada sulla esterna parete di un vase di vetro che contenga dell'acqua molto più fredda dell'ambiente, come pure nella parte interna de' vetri delle finestre nelle notti invernali.

Se poi ci sian due recipienti contigui comunicanti tra loro a diversa temperatura qual tensione dovrà in essi avere il vapore? In entrambi questi recipienti esso avrà una sola tensione e sarà quella che compete alla temperatura minore, imperciocchè da prima essendo la tensione del vapore più caldo maggiore di quella del più freddo recipiente, una porzione di vapore passerà dal primo al secondo, e perchè questo lo supponiamo saturo, vi sarà riduzione in liquido, e così continuando si arriverà ad un punto in cui il vapore residuo nello spazio caldo, rarefatto per le perdite sofferte, resterà della stessa tensione del vapore più freddo e si avrà equilibrio, con questa differenza che nello spazio freddo ci sarà saturazione e non ci potrà mai essere nel caldo.

Ciò posto vediamo come si può misurare la forza elastica o tensione de' vapori a diverse temperature, prendendo in disamina solo i vapori aquei.

Soglionsi adoperare sul proposito tre diversi strumenti secondo che si tratti di temperature sotto 0, tra 0 e 100°, o sopra 100°.

Per le temperature inferiori allo 0 si fa uso di un barometro comune a pozzetto e di un altro sulla cui cima sia un poco di acqua che si può fare ascendere con la pipetta espressa dalla fig. 109, e questo secondo barometro ha il cannello ricurvo nella parte supe-


FIG. 111.

riore (*fig.* 111) affinchè si possa immergerla in un liquido come mercurio od acquavite alla temperatura di — 10° p. e. Allora il vapore per le cose dette di sopra dovrà avere la tensione corrispondente a siffatta temperatura, per cui il liquido si vede mano mano sparire dal sommo della colonna di mercurio ed apparire in parte in fondo della cima del cannello, allo stato di ghiaccio. Ora quando l'equilibrio è avvenuto, la depressione del mercurio in questo barometro considerata per rispetto al vero barometro sarà la misura della forza elastica del vapore alla temperatura di — 10°. Nella stessa guisa si procede per altre temperature inferiori allo zero, e per tal modo si conosce come anche alla temperatura di — 30° il ghiaccio svolge vapore il quale tiene tuttavia una forza elastica sensibile. Nella medesima figura voi osservate un doppio barometro ricurvo alla cima, per potere nello stesso tempo vedere come i vapori dell'etere perdono col freddo assai più di tensione.


FIG. 112.

In così fatte sperienze è importantissima cosa che nel cannello entrando l'acqua o altro liquido non passi punto aria; e però la pipetta graduata che abbiamo espressa nella fig. 109, contenendo da prima mercurio, si tuffa in acqua bollita, e tirando un poco lo stantuffo si aspira una piccola quantità di acqua, e tosto portando il becco della pipetta sotto al cannello, premendo un poco lo stantuffo, quest' acqua si eleverà sul mercurio. Lo stantuffo si preme con una vite quando si vuol far passare nel cannello una determinata quantità di acqua.

Per le temperature comprese tra 0 *e* 100° si adopera uno strumento composto di due barometri in uno de' quali si fa nel modo indicato salire una certa quantità di acqua (*fig.* 112): essi hanno scala e pozzetto comune e insieme si pongono in un bagno di acqua: questa si riscalda successivamente e si agita affinchè la temperatura sia uniforme, ed intanto si osservano le depressioni del mercurio nel barometro in cui è il vapore, corrispondenti alle diverse temperature.

Con questo strumento si osserva che quando si è giunto alla temperatura di 100°, il mercurio nell'interno del cannello

si è abbassato per 760mm o per circa 28 pollici, vale a dire che la forza elastica del vapore aqueo a questa temperatura è eguale ad un' atmosfera; ecco perchè non si può con questo strumento procedere per temperature più elevate.

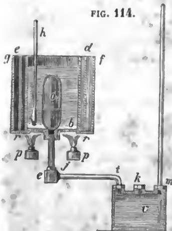
Per temperature dunque superiori a 100° si è fatto uso nelle scuole di un cannello ricurvo (*fig.* 113) con un braccio corto chiuso ed uno lungo aperto con entro mercurio ed un poco d'acqua sopra del mercurio nel braccio corto; ponendo questo cannello in un bagno di olio superiore a 100° il vapore farà elevare il mercurio di livello nel braccio lungo per un'altezza che può ben misurare la tensione. Ma siffatta esperienza per quanto semplice per altrettanto incapace di essere acconcia per temperature molto elevate, non potea dare que' risultamenti che la meccanica applicata domandava dopo che la forza del vapore avea cominciato a prestare grandi servigî alla industria. Per la qual cosa Arago e Dulong dopo di aver verificata la legge di Mariotte per pressioni molto elevate, dettero opera alla misura della tensione de' vapori respettivamente alle temperature, fino a 30 atmosfere, ed il Pouillet ridusse il grande apparecchio de' due fisici citati in modo da potere anche essere adoperato per le dimostrazioni di scuola.

FIG. 113.



Lo strumento del Pouillet è dinotato dalla (*fig.* 114) *O* è il vase a vapore che contiene tre quarti di litro di acqua: le sue parti possono resistere ad una forza di 100 atmosfere; esso termina nella parte di sotto in un cannello di circa un centimetro di diametro esterno, ordinato a trasmettere la pressione al manometro. Parte da *e* un altro cannello che va a metter capo nel vase manometrico *v*. Questo vase ha due altre aperture in una delle quali, in *k*, si pone a piacimento un manometro ad aria libera, o puro si tien chiusa, in un altra poi, in *m*, si applica un manometro ad aria compressa il cui cannello scende quasi fino al fondo del vase *v*. Il manometro ad aria libera può servire per le prime due o tre at-

FIG. 114.



mosfere ed anche per verificare il manometro ad aria compressa. Il volume del mercurio contenuto nel vase *v* e tale da non poter mai discendere fin sotto al cannello manometrico

Il vase *O* in cui sta il liquido da convertire in vapore è saldato nel fondo *b* di un altro vase più largo *d e* che si empie di olio caldo e si continua a riscaldare mercè le lampade *p*, *p*. L'olio si rimescola continuamente con un agitatore, ed alcuni termometri come *h* misurano la temperatura del bagno e quindi del vapore contenuto nel vase *O*. Un invoglio di materie che mal conducano il calorico circonda il vase che contiene l'olio.

Il vapore che si genera nel vase *O* preme il liquido sottoposto e questa pressione pel cannello *j t* si trasmette al mercurio e lo fa ascendere nel manometro.

TAVOLA I. *Densità e volume del vapore aqueo al massimo di tensione, prendendo per unità la densità ed il volume dell'acqua liquida a* 0: *Da* — 20° *a* 100°

TEMPERATURA	TENSIONE	DENSITA'	VOLUME	TEMPERATURA	TENSIONE	DENSITA'	VOLUME
—20	1,333	0,00000154	650588	22	19,417	1914	52260
—15	1,879	212	470898	23	20,577	2021	49187
—10	2,631	292	342984	24	21,805	2133	46877
— 5	3,660	598	251358	25	23,090	2252	44411
0	5,059	540	182323	26	24,452	2376	42084
1	5,393	573	174495	27	25,881	2507	39595
2	5,748	609	164332	28	27.390	2643	37838
3	6,123	646	114842	29	29,015	2794	35796
4	6,523	686	145886	30	30,643	2938	34011
5	6,947	727	137488	31	32,410	3097	32291
6	7,396	772	129587	32	34,261	3263	30650
7	7,871	818	122241	33	36,188	3435	29112
8	8,375	867	115305	34	38,254	3619	27636
9	8,909	919	108790	35	40,404	3809	26253
10	9,475	974	102670	36	42,743	4017	24897
11	10,074	0,00001032	99202	37	45,038	4219	23704
12	10,707	1092	91564	38	47,579	0,00004442	22513
13	11,378	1157	86426	39	50,147	4666	21429
14	12,087	1224	81686	40	52,998	4916	20343
15	12,837	1299	77008	41	55,772	5156	19396
16	13,630	1372	72913	42	58,792	5418	18469
17	14,468	1451	68923	43	61,958	5691	17572
18	15,353	1534	65201	44	65,627	6023	16805
19	16,288	1622	61654	45	68,751	6274	15938
20	17,314	1718	58224	46	72,393	6585	15185
21	18,317	1811	55206	47	76,205	6910	14472

Continuazione della tavola I.

TEMPERATURA	TENSIONE	DENSITA'	VOLUME	TEMPERATURA	TENSIONE	DENSITA'	VOLUME
48	80,195	7242	13809	75	285,070	23789	4204
49	84,370	0, 00007602	13154	76	297,570	24702	4048
50	88,742	7970	12546	77	310,490	25699	3891
51	93,301	8354	11971	78	323,890	26739	3741
52	98,075	8753	11444	79	337,760	27789	3599
53	103,060	9174	10961	80	352,080	0, 00028889	3462
54	108,270	9606	10410	81	367,000	30025	3331
55	113,710	0, 00010054	9946	82	382,380	31195	3206
56	119,390	10525	9501	83	398,280	32399	3087
57	125,310	11011	9082	84	414,730	33637	2973
58	131,500	11523	8680	85	431,710	34916	2864
59	37,940	12044	8303	86	449,260	36237	2760
60	144,660	12599	7937	87	467,380	37590	2660
61	151,700	13179	7594	88	486,090	38984	2565
62	158,960	13760	7267	89	505,380	40417	2474
63	166,560	14374	6957	90	525.280	41891	2387
64	174,470	15010	6662	91	545,800	0, 0043405	2304
65	182,710	15668	6382	92	566,950	44956	2224
66	191.270	16356	6114	93	588,740	46556	2148
67	200,180	17066	5860	94	611,180	48201	2075
68	209,440	17797	5619	95	534,270	49886	2005
69	219,060	18566	5386	96	658,050	51613	1938
70	229,070	19355	5167	97	682,590	53388	1873
71	239,450	20174	4957	98	707,630	55191	1812
72	250,230	21013	4759	99	733,460	57055	1751
73	261,430	21889	4569	100	760,000	58955	1696
74	273,030	22794	4387				

TAVOLA II. *Densità e volume del vapore aqueo al massimo di tensione, prendendo per unità il volume e la densità dell'acqua liquida a 0:*

Da 1 a 24 atmosfere secondo l'esperienza,
E da 24 e 50 secondo la formola empirica (1).

TEMPERATURE	FORZE elastiche in atmosfere	DENSITA'	VOLUME	TEMPERATURE	FORZE elastiche in atmosfere	DENSITA'	VOLUME
100	1	0,0005895	1696,00	193,7	13	0,006107	163,74
112,2	1 1/2	0,0008563	1167,80	197,2	14	0,006527	153,10
121,4	2	0,0011147	897,00	200,5	15	0,006914	144,00
128,8	2 1/2	0,0013673	731,39	203.6	16	0,007359	135,90
135,1	3	0,0016150	619,19	206,6	17	0,007769	128,71
140,6	3 1/2	0,0018589	537,96	209.4	18	0,008178	122,28
145,4	4	0,0020997	476,26	212,1	19	0,008583	116,51
149,1	4 1/2	0,0023410	427,18	214,7	20	0,008986	111,28
153,1	5	0,0025763	388,16	217,2	21	0,009387	106,53
156,8	5 1/2	0,0028091	355,99	219,6	22	0,009785	102,19
160,2	6	0,0030402	328,93	221,9	23	0,010182	98,21
163,5	6 1/2	0,0031683	305,98	224,2	24	0,010575	94,56
166,5	7	0,0034911	286,12	226,3	25	0,010963	91,17
169,4	7 1/2	0,0037217	268,82	236,2	30	0,012903	77,50
172,1	8	0,0039431	253,59	244,8	35	0,014668	68,20
177,1	9	0,0043865	227,98	252,5	40	0,016644	60,08
181,6	10	0,0048226	207,36	259,5	45	0,018497	54,06
186,0	11	0,0052557	190,27	265,9	50	0,020306	49,31
190,0	12	0,0056834	175,96				

Non solo i vapori oltrepassato il massimo di loro densità si convertono in liquidi, ma eziandio altri fluidi aeriformi reputati da prima permanenti ossia incapaci ad essere convertiti in liquidi sotto qualsiasi pressione e per qualsivoglia raffreddamento; ma non tutt'i fluidi elastici sonosi finora convertiti in liquidi, e si può solo per analogia e per induzione credere come molto probabile, che sotto maggiori pressioni ed a più basse temperature anche quelli che ora son permanenti cesserebbero di esserlo. Laonde la distinzione che un tempo facevasi tra gas e vapori, essendo i primi permanenti e non permanenti i secondi, non ha più un valore assoluto.

Ecco, secondo Faraday, le pressioni sotto le quali alcuni fluidi elastici presi alla temperatura 0 si convertono in liquidi.

(1) Ricavata dall'esperienze fatte fino a 24 atmosfere, la quale è riportata dal Pouillet e da altri.

NOMI DE' FLUIDI ELASTICI	PRESSIONI ALLA TEMPERATURA ZERO	
Acido solforoso	1 , 5	atmosfere
Cianogeno	2 , 3	—
Acido iodoidrico	4 , 0	—
Ammoniaca	4 , 4	—
Acido cloroidrico	8 , 0	—
Protossido di azoto	37 , 0	—
Acido carbonico	39 , 0	—

Pouillet con un suo strumento ha dimostrato alcune eccezioni che si hanno sulla legge di Mariotte per certi fluidi aeriformi i quali non procedono come l'aria, ma abberrano della legge che governa la compressibilità di questa, o giunti ad un certo limite, o anche dal bel principio come fanno quelli che si riducono in liquidi. Vedete le sue opere.

Il vapore dell'acido carbonico uscendo nell'aria passa tosto allo stato solido formando una maniera di neve a filamenti da rassomigliarsi all'ossido di zinco il più villoso. Questo fenomeno è stato la prima volta osservato da Thilorier dopo di avere inventato un congegno per dare l'acido carbonico liquido in molta quantità, la cui descrizione si può vedere nella piccola fisica del Pouillet. (Parigi 1850).

LEZIONE VI.

VAPORI MESCOLATI CON ALTRI FLUIDI AERIFORMI.

Mescolate insieme due liquidi tra i quali non regni affinità chimica e li vedrete poco dopo separati tra loro e disposti secondo l'ordine delle loro densità, cioè il più denso sotto ed il meno denso sopra, siccome interviene all'olio con l'acqua ; ma non accade così de' fluidi aeriformi tra'quali non corra affinità, perocchè questi si mescolano insieme ancorchè si pongano da prima l'uno sull'altro secondo le densità loro. Fu Bertollet il primo a darci una prova irrecusabile di questa verità. Fece egli calare ne' sotterranei dell'Osservatorio di Parigi due globi separati tra loro da una chiavetta, l'uno pieno di gas idrogeno e l' altro di gas acido carbonico, e gli collocò in modo che l'idrogeno rimanesse sopra e l'acido carbonico sotto : aspettò lungo tempo prima di aprire la chiavetta ossia prima di porre i due globi in comunicazione. I due

gas dunque i quali per tal modo aveano la medesima temperatura, erano in una perfetta quiete ed al coperto di qualsiasi agitazione, si mescolarono insieme quando ebbero a comunicare , in guisa che una metà dell'idrogeno del globo di sopra discese in quello di sotto, siccome da questo una metà dell'acido carbonico, a dispetto della sua maggior densità, si clevò nel globo di sopra.

Lo stesso interviene per un maggior numero di fluidi aeriformi, e però si tiene da' fisici come dimostrata la seguente proposizione: *Quando in un medesimo spazio si raccolgono più fluidi elastici, tra' quali non regni azione chimica, ciascuno si espande in tutto lo spazio, e la elasticità del mescuglio è eguale alla somma delle elasticità di ciascuno separatamente considerato.*

I vapori dunque si mescolano in un dato spazio sia con altri vapori sia con un gas, senza doversi tener conto delle loro densità. Inoltre l'assoluta quantità di liquido che si può svolgere in vapore in un dato spazio è la stessa o che questo sia vuoto o che contenga un altro fluido elastico, purchè la temperatura sia la stessa; la sola differenza è nel tempo, perocchè nel vuoto il vapore si genera più prontamente che nell'aria o in qualunque altro fluido elastico, essendo necessario un certo tempo a formarsi il mescuglio, per cui l'acido carbonico si può per qualche tempo tenerlo in fondo di un bicchiere aperto e farvi delle sperienze, ma poi più non si trova, essendosi mescolato con l'aria.

Per la qual cosa quando uno spazio è saturo di vapore aqueo, per esempio, esso potrà ricevere il vapore di un altro liquido e saturarsene nello stesso modo come se fosse vuoto, e così dopo di essersi saturato anche di questo potrebbe saturarsi del vapore di un terzo liquido, ec.

Nell'aria dunque distingueremo l' umidità in assoluta e relativa siccome abbiamo fatto pel vuoto. Laonde l'aria col riscaldarsi diviene relativamente secca siccome sembra farsi più umida con lo scemare della temperatura. E per fermo dalla tavola riportata alla pag. 169 si conosce che un metro cubico di aria alla temperatura di 30° può contenere circa 30 grammi di vapore; se dunque ne contenesse 15 si reputerebbe molto secca, ma se quest'aria si trovasse alla temperatura di 20° essa si direbbe molto umida essendo prossima al punto di saturazione.

Quantunque i vocaboli di saturazione e di umidità relativa ed assoluta si riferiscano propriamente parlando allo spazio anzicchè all'aria in cui il vapore si trova, pure per le cose dette apparisce come essi si adattino ancora all'aria o ad altri gas. Quando dunque diciamo, aria satura di vapore, non si dee intendere già che questa fosse inetta a tenerne altro, ma sì bene che in quello

spazio in cui l'aria si trova il vapore vi abbia la massima densità. Lo stesso,deve,a parlare con tutta precisione,intendersi anche delle espressioni, aria secca ed aria umida. Quindi s'intende che l'aria con la stessa quantità di vapore e con la stessa temperatura diverrà più umida comprimendola,ossia riducendola ad un volume minore.

La legge di sopra enunciata relativamente a' mescugli di fluidi aeriformi par che induca a pensare che le molecole di uno non premano quelle dell'altro,e che ciascun fluido costituisca un sistema di forze che hanno tra loro azioni reciproche, ma che nessuna azione esercitino su quelle dell' altro sistema, per cui si soprapporgono senza impedirsi.Pur tuttavolta la propagazione del suono ne' mescugli di fluidi aeriformi, e d'altra banda quel vedere che un fluido se non impedisce almeno ritarda la evaporazione ci rimangono nella impossibilità di pervenire ad una conclusione sicura.

LEZIONE VII.

EBOLLIZIONE ED EVAPORAZIONE.

I liquidi, secondo fu detto, si convertono in vapori in due modi, per *ebollizione* cioè e per *evaporazione*. Si ha il primo modo quando i vapori si generano entro la massa del liquido e vengon su sotto forma di bolle o sonagli, si ha il secondo quando sorgono dalla superficie de' liquidi o de' corpi umidi.

Facciamoci a studiare l'uno e l'altro fenomeno. Esponete un vaso di vetro con entro acqua sopra una lampada ad acquavite, voi vedrete da prima un leggiero moto nel liquido, nel quale se siano notanti de' piccoli frammenti di un corpo solido non molto pesante nè molto leggiero, vi accorgerete che questi sono trasportati da una doppia corrente, cioè una che muove dal fondo del vase cui è applicata la fiamma e si dirige in alto, ed un'altra che dalle falde superiori discende verso il fondo del vase. La ragione di questo primo fatto di leggieri s'intende, perocchè l'acqua la quale è immediatamente esposta all' azione del fuoco col dilatarsi diviene più leggiera ed ascende, e quella delle falde superiori perchè più fredda e quindi più densa discende per riscaldarsi a sua posta; giacchè l'acqua si riscalda forse più per questo successivo toccare del fondo del vase esposto alla fiamma che per la propagazione del calorico di falda in falda. Il Desprez infatti dimostrava con esperienze come l'acqua si riscalda assai più tardi col fuoco applicato nella

parte superiore del vase, per rispetto a quella che lo abbia applicato alla parte inferiore.

Passato un certo tempo veggonsi delle piccole bolle generarsi sul fondo del vase esposto alla fiamma, le quali salendo si dileguano per via senza giungere alla superficie del liquido, e s'ode in pari tempo un certo rumore particolare che precede la ebollizione; queste bollicine rappresentano il vapore che si genera sul fondo del vase con una tensione capace di resistere alla pressione che le circonda, ma come si allontana dal fondo perde un poco di quella tensione e tosto è convertito in liquido dalla pressione circostante superiore alla forza elastica del medesimo. Ma giunge finalmente il tempo in cui, per la maggiore temperatura, queste bolle acquistano una maggiore tensione, per la quale reggono contro la pressione che le circonda non solo, ma fannosi più grosse e frequenti e si elevano fino alla superficie del liquido perdendosi nell'aria: in questo momento propriamente dicesi che il liquido bolle. L'ebollizione dunque si ha quando il vapore del liquido abbia acquistata una tensione o forza elastica pari alla pressione che soffre, la quale pressione è comunemente quella dell'aria più l'altra del liquido Per la qual cosa supponendo il vase di piccola profondità, il vapore dovrà avere una forza elastica eguale alla pressione atmosferica. Or poichè con la temperatura di 100° abbiamo veduto che il vapore aqueo acquista una tensione di 760mm ossia di un atmosfera, perciò segue che l'acqua bolle a questa temperatura stando sotto la media pressione dell'atmosfera. E però quando l'acqua si trovasse sotto minori pressioni essa bollirebbe a temperature più basse, di modo che sotto una pressione di soli 5mm di mercurio bollirebbe alla temperatura 0; onde acqua fredda bollente non è punto una contraddizione, perocchè la necessità di riscaldare i liquidi per farli bollire deriva dalle pressioni sotto le quali si trovano; per cui se l'atmosfera potesse per un momento sparire o sommamente rarefarsi, bollirebbero i mari ed i laghi alle temperature alle quali si trovano. Elevatevi in fatti sulle cime de' monti e vedrete che l'acqua bolle a temperature minori quando vi trovate ed altezze maggiori, in guisa che Sausurre, Forbes ed altri si studiarono di esibire una formola mercè la quale data le temperature di ebollizione dell'acqua di due stazioni, si determina la differenza di altezza delle medesime, ed il termometro viene così a fare l'uffizio del barometro. Ora intendete la ragione per la quale nel segnare sulla scala del termometro la temperatura dell'acqua bollente si disse che questa dovea trovarsi sotto la media pressione barometrica.

Fate bollire l'acqua in un matraccio di vetro indi chiusone l'ori-

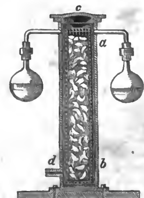
fizio, levatelo dal fuoco tenendolo capovolto, e versatevi sopra del l'acqua fresca (*fig.* 115), vedrete quella del matraccio bollire, e ciò perchè sopra dell' acqua non ci è aria ma vapore, il quale vi esercita una pressione da impedire al liquido di bollire, ma l'acqua fredda condensando in parte questo vapore rinnova il bollimento.

FIG. 115.



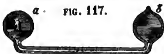
Ponendo dell'acqua calda ad una cinquantina di gradi sotto il recipiente della macchina pneumatica, ed estraendo l'aria, si vedrà l'acqua bollire, ma non si può avere per tal modo l' ebollizione a temperature molto basse per cagione del vapore che con la sua elasticità preme sull' acqua; è però il Pouillet ha fatto uso di un altro apparecchio dinotato dalla figura 116. Esso è composto da un cilindro di rame alto 40 in 50 centimetri e di un decimetro di diametro, che chiudesi di sopra con turacciolo a vite *c* dopo di avervi introdotto un paniere di lamina metallica contenente circa un litro di calce viva in frammenti di mediocre grandezza. Alla parte di sotto ci ha una cannella *d* per fare il vuoto, ed alla parte di sopra stanno due cannelli ricurvi, agli estremi de' quali si adattano gli orifizi di due matracci con entro acqua per fare l'esperienza. Per tal modo i vapori essendo assorbiti dalla calce, l'esperienza riesce più facilmente ed a temperature più basse.

FIG. 116.



Il bollente di Franklin finalmente (fig. 117) fa bollire l'acqua col calore della mano; ma qui veramente è il vapore che fatto più elastico nel globo sul quale la mano si applica passa nell' altro che sta alla temperatura dell'ambiente. Ne' due globi che vedete non ci è aria, perocchè furono chiusi mentre l'acqua vi bolliva dentro. In simil modo son fatti pure altri ordigni come il *polsometro*, il *martello fisico*, ec.

FIG. 117.



Se scemando la pressione facciamo bollire i liquidi a temperature più basse, accrescendola possiamo ritardare la ebollizione indefinitamente, in modo che non solo è possibile avere acqua fredda bollente, ma eziandio acqua cocentissima che non bolle. E questo

appunto si ottiene ne' vasi chiusi in cui in cui l'acqua può riscaldarsi moltissimo senza bollire per effetto della pressione che il vapore esercità sulla medesima, la quale pressione va rendendosi maggiore col crescere delle temperature. La pignatta di Papin (*fig.* 118) può essere adoperata a comprovare questa verità. Essa consiste in un vase di rame a grosse pareti con entro acqua, chiuso perfettamente di sopra e munito di un'animella di sicurezza *s* per preservare la pignatta da'pericoli di scoppio. Esposta al fuoco si vede giungere a 150 o a 200° senza che l'acqua bolla; ma se si apre la chiavetta *r*, osservasi una maniera di zampillo di vapore di tre o quattro metri di altezza, e per tal modo tutta l'acqua se ne va via in vapore, rimanendo il vase notabilmente raffreddato. Lo stesso può osservarsi con altro recipiente che han detto autoclave, perchè da se si chiude tanto meglio per quanto maggiore è la forza elastica del vapore.

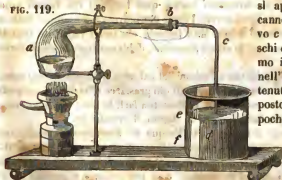
FIG. 118.



Dalle cose dette intendesi, che quando i vasi siano molto profondi ed il fuoco sia applicato solo alla parte di sotto, il vapore dovendo sostenersi contro la pressione dell'aria e del liquido avrà bisogno di una temperatura alquanto più elevata.

Per meglio intendere come il vapore non possa sostenersi nel liquido se non abbia una forza eguale alla pressione che soffre descriveremo la seguente esperienza. Ad una storta di vetro *a b* (*fig.* 119) si applichi un cannello ricurvo *c* il quale peschi con l'estremo inferiore *d* nell'acqua contenuta nel sottoposto vase *e*, per pochi centimetri al disotto della superficie di livello. Nella storta trovasi un poco di acqua che si fa bollire. Si vedranno da prima delle grosse bolle scappar fuori attraverso dell'acqua, queste sono bolle d'aria che per effetto della temperatura esce dalla storta; ma a poco a poco coteste bolle si van facendo più

FIG. 119.



cole perchè esce poca aria e molto vapore; finalmente quando l'acqua nella storta è venuta in piena ebollizione, le anzidette bolle tornano più grandi, ma in vece di scappar fuori dell'acqua si mostran solo gonfie all'estremo del cannello *d* e spariscono con un forte rumore, perchè queste essendo di solo vapore, giunte nell'acqua fredda perdonò di forza elastica e sono ridotte in liquido dalla pressione atmosferica che trovasi superiore alla tensione così diminuita.

Versate ora nel vase *e* dell'acqua colorita, tanto che possa presso a poco empire la storta, e togliete il fornello affinchè cessi l'ebollizione. Tosto si vedrà il liquido elevarsi nel cannello *c d* e dopo alcune singolarissime vibrazioni oltrepassare la curvatura *c* e poco dopo empiere la storta con un getto continuo. Di questa seconda serie di fenomeni darete facilmente ragione considerando che la storta non conteneva più aria ma vapore aqueo il quale avea da prima una tensione poco maggiore di una pressione atmosferica, ma tolto il fornello la elasticità del vapore è venuta scemando e la pressione dell'aria sul liquido si trova in eccesso, e però il liquido comincia ad elevarsi contrastando con la elasticità residuale del vapore, e quando questo si è anche ulteriormente raffreddato e però convertito in liquido, la capacità della storta si empie interamente.

Se i vapori de'varî liquidi con la medesima temperatura avessero la stessa forza elastica, sotto la stessa pressione tutt'i liquidi bollirebbero alla stessa temperatura, ma non essendo così, siccome fu innanzi osservato, ne segue che i liquidi i cui vapori sono più elastici bolliranno a temperature più basse, e per contro a temperature più elevate dovranno bollire quei liquidi i cui vapori sono meno elastici. Ecco perchè l'etere cloroidrico per esempio bolle a 1° ed il mercurio a 360.° Ma s'intende che tutt'i vapori de' liquidi che bollono sotto la stessa pressione, debbono avere la stessa forza elastica.

Ci ha de'liquidi che all'azione del calorico si scompongono senza bollire, come sono per lo più gli olii grassi: ce n'ha di altri pe'quali non abbiamo temperature sufficienti a farli bollire; tali sono i metalli anco più fusibili come lo stagno, il piombo ec.

I solidi che si sciolgono nell'acqua ne ritardano la ebullizione ossia la fanno avvenire a temperature più elevate, pure siffatto ritardo cresce con la maggiore quantità di solido disciolto ma non in proporzione del medesimo; così per esempio 8 grammi di sal comune sciolti in 100 grammi d'acqua ne ritardano la ebollizione per 1°, e 40 grammi la ritardano per 8.°

La natura de'vasi ha eziandio una certa efficacia in far variare la temperatura di ebollizione. Ed in fatti l'acqua che bolle in un

vase di vetro suole avere una temperatura di circa un grado superiore a quella che bolle in un vase metallico, e Marcet ha trovato che se in un vase di vetro si sia fatto bollire acido solforico, ancorchè dopo si lavi con ogni diligenza, l'acqua vi bollirà ad una temperatura di 5 in 6° superiore all'ordinaria.

Come seconda condizione poi della ebollizione è da notare l'assorbimento di calorico latente. E per fermo, ponete un termometro nell'acqua ed esponetela al fuoco, voi osserverete il mercurio elevarsi fino al momento in cui la ebollizione comincia, e rimanere stazionario durante tutto il tempo della ebollizione, il che chiaramente dimostra come tutto il calorico somministrato al liquido che bolle sia dal vapore assorbito; per cui sotto la media pressione dell'aria l'acqua ne' vasi aperti non potrà mai oltrepassare la sua temperatura di ebollizione. Non così ne' vasi chiusi ne' quali abbiamo veduto poter avere temperature molto elevate e quindi vapori di molta tensione.

Il calorico latente che il vapore assorbe quando si genera, si svolge e diviene libero quando si condensa, e però talvolta quando la locomotiva è ferma alla stazione ed il vapore eccedente della caldaia deve andar perduto per le animelle di sicurezza, si suole farlo andare nell'acqua del *tender* ove condensandosi cede calorico all'acqua.

Nella seguente tabella registriamo le temperature di ebollizione di alcuni liquidi.

Protossido di azoto	— 88°,0
Acido carbonico	— 79, 0
Acido solforoso	— 8, 0
Etere cloroidrico	11, 0
Etere comune	35, 5
Solfuro di carbonio	47, 9
Cloroformio	61, 0
Bromo	63, 0
Acquarzente (*alcool*)	78, 3
Nafta	85, 5
Essenza di terebentina	160, 0
Mercurio	360

Calefazione, o stato sferoidale. Se si versino alcune gocce di acqua sopra un corpo rovente, come per esempio in un crogiuolo di platino portato alla incandercenza, l'acqua non bolle, essa si arrotondisce, come farebbe una goccia di mercurio sulla tavola, e rota intorno a se stessa senza toccare il corpo rovente: si riscalda sì ma ad una temperatura inferiore a quella dell'ebollizione e scema lentamente di volume. Quando poi il metallo vien raffreddandosi

da mostrarsi poco rovente(al rosso scuro), ad una temperatura cioè di circa 200°, la gocciola si deprime, tocca la parete del crogiuolo ed in un attimo sparisce con uno scroscio di bollimento rapidissimo.

I fisici comunemente danno ragione di questo fatto singolarissimo col dire che il vapore che circonda la gocciola formando una specie di atmosfera intorno alla medesima, non solo le impedisce di venire in contatto con le pareti incandescenti del crogiuolo, ma non le fa pervenire neppure una gran quantità di calorico, per cui essa si tiene ad una temperatura relativamente molto bassa ossia inferiore a 100°; ma quando il vapore che la circonda non ha più quella grande tensione, la gocciola cade sul fondo del vase e riscaldandosi per lo contatto di questo si converte tosto in vapore.

I fabbri ferrai osservano ogni giorno questo fenomeno in ordine inverso. Quando essi vogliono temperare l'acciaro lo tuffano molto rovente nell'acqua, e veggono per alcuni secondi questo rimanersene in tale stato circondato da una falda di vapore; ma come l'acqua giunge a toccarlo in alcun punto tosto si ode lo scroscio del bollimento e l'acciaro si trova in un attimo raffreddato.

Un filo di platino portato alla incandescenza dalla corrente elettrica conserva la sua temperatura nell'acqua senza generarvi bollimento ed elevazione di temperatura pari a quella che un filo meno caldo saprebbe generarvi.

Boutigny ha denominato questo particolar modo di essere dell'acqua, *stato sferoidale* della medesima; la espressione è stata generalmente ricevuta da' fisici, ma non tutti hanno accolto le idee teoriche della virtù repulsiva del calorico dalla quale egli fa derivare il fenomeno. È giunto questo fisico a far congelare l'acqua in un fornello accanto all'oro ed all'argento in fusione, riducendo allo stato sferoidale un liquido molto volatile quale è l'acido solforoso il quale per la evaporazione assorbendo molto calorico latente riduce in ghiacciuoli l'acqua che contiene.

È giunto anche, muovendo il Boutigny dal medesimo principio, a passare un dito ed anche la mano intera entro un metallo liquefatto, esperienza che da lungo tempo faceano già gli operai fonditori, non senza qualche disgrazia che di tempo in tempo veniva a renderli meno arditi ed imprudenti. Boutigny ha conosciuto le condizioni della riuscita non che quelle de' pericoli per cui non pochi riportarono le dita bruciate. Egli ha fatto osservare che la mano non deve passare per entro al metallo fuso nè troppo lenta, nè troppo rapida; che non bisogna fidarsi all'umido naturale della mano, ma che vale meglio, dopo di averla spalmata di sapone, immergerla in una soluzione di sale ammoniaco, prima d'immergerla nel metallo

fuso. In questo caso la falda di vapore che circonda la mano ritarda per nn poco al calorico il passaggio, ma bentosto però, se non si è a tempo, la mano sarà bruciata: laonde conviene che la mano passi presto ma non prestissimo, perocchè altrimenti operando con troppa celerità il vapore sfugge ed il metallo fuso toccando la cnte gravemente la scotta. Dalle cose dette dunque si vede, che il periglioso esperimento che abbiam descritto è antico e non sempre sicuro, nè per questo modo, come altri disse, si potrebbe stare impunemente in un bagno di ferro o altra qualsiesi materia fusa; o in qualunque altro modo assoggettare senza rischio il corpo ad elevate temperatnre.

Evaporazione. Due sono le condizioni della evaporazione: la prima è che lo spazio che sta sul liquido non sia saturo di vapore del medesimo liquido; la seconda, che vi sia assorbimento di calorico latente. La prima condizione è palese per le cose dette di sopra, perocchè abbiam veduto che in uno spazio saturo non pnò svolgersi altro vapore del medesimo liquido, rimanendo la temperatura la stessa.

Quindi s'intende come spesso il vento abbia la virtù di presto asciugare il suolo bagnato dalle pioggie, o in generale di promuovere la evaporazione come se questa si avverasse nel vuoto, perocchè quando l'aria che sta sul liquido è in quiete, saturata che è di vapore, fino a che questo non guadagna le falde più lontane, diviene ostacólo alla formazione di altro vapore; ma se il vento rimuovendo quest'aria ne conduca altra più secca, l'evaporazione sarà facilitata, e questo interviene appunto tra noi co' venti boreali, i quali perchè vengono dal continente e perchè verso regione più calda debbono condurre aria non satnra. Ma se il vento conducesse aria satura di vapori questo non potrebbe promnovere la evaporazione. Quando tra noi spirano i venti marittimi, l'aria già di per se umida venendo a raffreddarsi alquanto sulla terra, non solo non ci asciuga le strade se erano bagnate, ma le bagna leggiermente quando non lo erano pel vapore che sopra vi si condensa.

L'assorbimento poi del calorico latente si dimostra con molte sperienze dalle quali si scorge come la evaporazione divenir debba per questo cagione di freddo. Ed in prima prendasi un termometro ed involtone il bulbo in pannolino bagnato in un liquido volatile, si agiti un poco, si vedrà il mercurio prontamente abassarsi perchè cede calorico al vapore che si genera dal liquido che bagna il pannolino. È però che due termometri i quali andavano perfettamente di accordo segneranno temperature diverse se uno abbia il bulbo circondato da un pannolino bagnato, e quest' ultimo si terrà tanto più basso per rispetto al primo per quando più secca è l'aria circostante.

Poichè i vapori si svolgono più prontamente nel vuoto, così più rapido essendo l'assorbimento di calorico si può eziandio avere un freddo più intenso. Questo infatti si sperimenta mercè la macchina pneumatica ; ma se nel recipiente porremo un corpo che assorba i vapori nel momento che si generano, noi avremo effetti più considerevoli. Ponete dunque nel recipiente della macchina pneumatica una larga ciotola di vetro con entro acido solforico concentrato; sull'orlo di questa poggiate i piedi di una piccola coppa metallica a pareti molto sottili piena di acqua. Estraete l'aria dal recipiente, ed in breve tempo vedrete l'acqua che resta nella coppa dopo di esserne svaporata una parte,convertirsi in ghiaccio, perocchè il vapore essendo continuamente assorbito dall'acido solforico dà luogo ad altro che si eleva dall'acqua , e quindi si ha rapido e continuo assorbimento di calorico latente il quale perchè viene tolto all'acqua residua generar deve in questa un considerevole abbassamento di temperatura.

La stessa esperienza può farsi eziandio con l'apparecchio descritto alla pag. 176 , ponendo pochissima acqua ne'matracci o sostituendo ad essi due piccoli cannelli.

Ci ha pure un piccolo strumento denominato crioforo col quale si ottiene il medesimo risultamento: esso consiste in un cannello di vetro che contiene dell'acqua,questo avea una punta aperta quando vi si fece bollire l'acqua dentro,per questa punta se ne uscì l'aria e mentre il liquido bolliva fu chiusa talchè lo interno del cannello rimase privo d'aria. Or se circondate la parte superiore di questo cannello di un mescuglio frigorifico, neve e sale, p. e., il vapore riducendosi in liquido nella parte superiore del cannello, altro se ne formerà dal liquido il quale a sua posta condensandosi coll'elevarsi nascerà dell'altro,e così l'acqua residua giungerà alla temperatura 0.

Da questo principio dipende l'effetto che ne'paesi caldi si ottiene da alcuni vasi detti *alcarazas* ordinati a rinfrescare le bevande. Essi son fatti di argilla porosa ed a pareti sottili attraverso le quali il liquido trapela e si svolge in vapore , e per tal modo il liquido interno rimane raffreddato per 10 in 15° per rispetto alla temperatura dell'ambiente.

Potrei citarvi parecchie applicazioni di questo medesimo principio per mostrarvi il freddo che viene generato dalla evaporazione, ma per ora può bastare quello che ne'abbiamo detto ; solo bramo che non dimentichiate che questo freddo sarà più intenso con liquidi più volatili dell'acqua, come con l'etere per esempio, e con alcuni si può giungere a render solido il mercurio.

Della elasticità del vapore applicata come forza motrice nelle macchine ve ne parlerò in un appendice separata.

TERZA SERIE.

LEZIONE I.

MAGNETISMO (1).

FENOMENI GENERALI DELLE CALAMITE.

Fin da'tempi di Talete e di Pittagora conoscevasi un minerale dotato della virtù di attirare il ferro, questo da patrio nome fu dai Greci detto *magnete* (2), ed appresso da noi ebbe il nome di *calamita*: e quando gran numero di rocce erano chiamate pietre, questo minerale chiamavasi anche *pietra calamita*. Or siccome noi per diversi modi possiamo fare acquistare all' acciaro temperato tutte le proprietà della calamita, ed anche al ferro, almeno temporaneamente, così le calamite delle quali di sopra è detto, che in sostanza son ferro ossidulato in cristalli o amorfo, han ricevuto l'aggiunto di *naturali* per distinguerle da quelle che facciamo noi con l'acciaro le quali diciamo *artificiali*. Son queste che più spesso verranno da noi usate nelle nostre sperienze, come quelle cui possiamo dare la forma e la grandezza che vogliamo.

Rotolando dunque una calamita nella limatura di ferro, se sarà di una certa forza, vedrete la limatura acciuffarsi intorno alla mede-

(1) Non avrei distinto la serie delle lezioni del magnetismo da quella dell'elettricismo se non vi fossi stato indotto dalla necessità di fare menzione della teorica de'due fluidi magnetici sulla quale si adagiano importanti lavori del Gauss e di altri sommi matematici, e se non mi fosse sembrato un interrompere il ragionamenento sulle dottrine dell'elettricità per esporre i fatti del magnetismo prima di assegnarne le ragioni co' principi Amperiani. Trattando dunque della elettricità, non dovremo fare altro che richiamarci a mente i fatti che qui esporremo per sottoporli alle leggi più generali di elettrodinamica.

(2) *Magneta dicunt patrio de'nomine Grai*. Lucr. de Rer. nat.

sima disposta in filamenti a guisa di una capelliera (*fig.* 120), ma in maggiore abbondanza verso due opposte regioni, e poi scemando gradatamente fino a che si giunga ad una linea intermedia che si mostra senza veruna azione: queste due opposte regioni *a* e *b* diconsi *poli* e questa linea *n s* dicesi *linea neutra*. La voce *polo* poi suole avere due altri significati: talora dinota la metà della calamita computata della linea neutra, ed altre volte il punto in ciascuna di queste metà per lo quale passa la risultante di ciascuno de' due sistemi di forze che la calamita rappresenta.

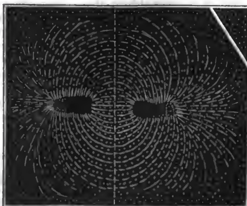
FIG. 120.



La virtù attrattiva della calamita pel ferro non è in ragione del peso o del volume della medesima, perocchè possonsi avere calamite piccole e forti, come grandi e deboli. Impareremo appresso a misurarne la forza, ma per ora vi accorgerete di avere una calamita di più o meno forza dalla quantità di limatura di ferro che vi si acciuffa.

La calamita non solo attrae il ferro attraverso dell'aria, ma attraverso tutt'i corpi sopra i quali non eserciti un' azione immediata e sensibile, per cui se sopra un vetro o un pezzo di carta spargete della limatura di ferro e poi di sotto presentate una calamita, vedrete la limatura ordinarsi nel modo dinotato dalla figura 121 rappresentando i due poli due centri di azione verso i quali convergono delle linee di limatura di ferro disposte come per curve distinte.

FIG. 121.



Se voi rompete una calamita, in ciascuna delle sue parti apparisce una linea neutra e due poli. È impossibile dunque avere una calamita con un solo polo.

Se la calamita attira il ferro, questo dal canto suo attira la calamita: sospendete in fatti una calamita ad un filo flessibile pre-

sentatele un pezzo di ferro ad una certa distanza e vedrete la calamita correre verso il ferro.

Se tra il ferro e la calamita osservate solo attrazione, tra le calamite noterete attrazione e repulsione. L'esperienza si può fare agevolmente sospendendo una calamita ad un filo di bozzolo o ad un fascetto di questi fili in modo che non ci abbia torsione (*fig.* 122) e presentando una seconda calamita a questa così sospesa orizzontalmente, si vedrà che ciascun polo di dette calamite eserciterà attrazione sopra uno dei poli della calamita mobile e ripulsione sopra l' altro. Ora diciamo *poli dello stesso nome* quelli di più calamite che si comportano nello stesso modo sopra lo stesso polo della calamita mobile, e *poli di nome contrario* di due calamite quelli dei quali uno attrae e l'altro repelle un medesimo polo della calamita mobile, avremo per legge generale, mettendo queste calamite in azione tra loro col renderle mobili, che i *poli dello stesso nome si respingono, ed i poli di nome contrario si attraggono.*

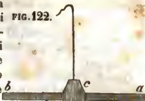


FIG. 122.

Se una calamita naturale o artificiale si porti fino alla incandescenza e poi si lasci raffreddare, questa cesserà di esser calamita conservando il medesimo peso. Da questo si conchiuse che il magnetismo fosse indipendente dalla materia ponderabile, ma che procedesse da un fluido imponderabile che fu detto *fluido magnetico*, il quale si scomporrebbe in due altri fluidi distinti ciascun de'quali predomina in un polo della calamita; ma noi non crediamo pel momento esser mestieri di alcuna ipotesi, volendo solo investigare le leggi del magnetismo indipendentemente della sua essenza intorno alla quale ci ha più d'una ipotesi, e verrà tempo in cui sarà opportuno dirne qualche cosa.

Il ferro dolce sotto l'azione della calamita diviene anch'esso calamita. Ed in vero, presentate ad un polo *A* di una calamita (*fig.* 123) un cilindretto di ferro dolce *f*, vedrete questo attirare la limatura di ferro, e solo la linea neutra non corrispondere in mezzo; ma distaccandolo dalla calamita, la limatura di ferro cadrà, ed il ferro tornerà inerte come prima di esser messo in contatto con la calamita: il ferro dolce dunque è capace solo di magnetismo temporaneo.

FIG. 123


Ma l'acciaro temperato non così prontamente come il ferro, sibbene o per più lungo contatto, o con alcune operazioni che appresso indicheremo, si converte in calamita, e riman tale in modo per-

manente. Ciò ha fatto dire a'fisici che l'acciaro temperato ha *forza coercitiva*, ed il ferro dolce non ha forza coercitiva, dinotando con questo nome una forza che si oppone al pronto eccitamento del magnetismo polare, ma eccitato impedisce che prontamente si neutralizzi. Difficile è trovare il ferro tanto dolce che non abbia alcuna forza coercitiva, come è forse impossibile trovare una forza coercitiva assoluta nell'acciaro temperato, per cui si ha un minimo di cotesta forza nel ferro il più dolce, ed un massimo nell'acciaro meglio temperato. Si corre cioè per una serie di gradazioni nelle diverse qualità di ferro non che ne' diversi gradi di tempera dell'acciaro.

Quando un polo di una calamita tiene attratto un cilindretto di ferro, questo può attrarne un secondo, questo un terzo e così appresso fino ad un certo numero da formare una catena magnetica, ma se distaccate il primo di essi dalla calamita tutti si separeranno tra loro.

Pare che la calamita ecciti nel ferro o nell'acciaro il magnetismo polare senza comunicare la propria virtù a'medesimi, perocchè essa nulla perde, e però alcuni dissero che nel ferro e nell'acciaro si trova il fluido neutro il quale fino a che non si scompone non si manifesta con l'aspetto delle polarità, ma la calamita con la sua presenza inducendo nel ferro o nell'acciaro la separazione de'due fluidi fa che questi corpi diventino calamite, perocchè ciascun fluido magnetico respingerebbe quello del medesimo nome ed attrarrebbe quello di nome contrario.

Noi diciamo magnetici tutt'i corpi che sono attratti dalla calamita e *magneto polari*, calamitati, o calamite quelli che innanzi ad una calamita presentano il doppio fenomeno dell'attrazione e della ripulsione.

Oltre il ferro sono attratti dalla calamita in modo sensibile il nichel il cobalto il cromo ed alcuni composti ne'quali entrano questi come componenti, e spesso ne' composti si trova quella forza coercitiva che manca a' semplici, siccome si avvera col ferro ossidulato e con l'acciaro.

Ma in questi ultimi tempi si è dimostrato in modo sicuro, operare il magnetismo sopra tutt'i corpi, il che fu da Coulomb sospettato già da gran tempo valutando il diverso numero di vibrazioni che aghi sospesi o bilicati di diverse materie facevano sotto l'influsso delle calamite. Lebaillif d'altra banda avea osservato che il bismuto e l'antimonio manifestano una forza ripulsiva sull'ago calamitato. Regnava intanto una tal quale dubbiezza intorno a questi fatti che o non si potettero col medesimo successo osservare da tutti, o si credettero conseguenza di sostanze magnetiche, ferro, ni-

chel ec. contenute in que'corpi sopra i quali la calamita esercitava una debole azione; ma Michele Faraday, per mezzo di calamite molto forti le quali appresso impareremo a conoscere, si assicurò che il magnetismo esercita effettivamente la sua azione sopra i corpi reputati innanzi non magnetici, ed in due maniere diverse, in modo che alcuni di essi corpi ridotti ad aghi mobili si dirigono secondo la linea de'poli della calamita detta dal Faraday *linea assiale* o *di forza magnetica*, ed altri si dispongono perpendicolarmente alla medesima secondo la linea che dicesi *equatoriale*.

I primi diconsi dotati di *magnetismo assiale, paramagnetici* o semplicemente magnetici, ed i secondi diconsi avere *magnetismo equatoriale*, e si dicono anche *diamagnetici*. Tipo de'primi è il ferro, tipo de'secondi è il bismuto. I primi dunque sono attratti i secondi repulsi dalla calamita. Ma in luogo più opportuno torneremo sopra questo argomento, quando avremo acquistate altre nozioni delle quali in questo momento manchiamo.

Le calamite naturali o artificiali perdono di forza per temperature più elevate come par che ne acquistino per temperature più basse, ma si perviene a certe temperature elevatissime alle quali, siccome di sopra è detto la forza coercitiva si perde, ed il magnetismo polare è distrutto.

LEZIONE II.

AZIONE DELLA TERRA SULLE CALAMITE.

Declinazione. Bilicate un ago calamitato (1) sopra una punta di acciaro in guisa che possa liberamente muoversi in un piano orizzontale (*fig.* 124), e lo vedrete fermarsi in una direzione alla quale

FIG. 124.



sempre ritornerà dopo un certo numero di vibrazioni, quante volte ne venga rimosso. E poichè nulla di somigliante si avvera con un ago non calamitato, è mestieri conchiudere, esservi una forza magnetica che obbliga il primo a prendere quella determinata giacitura di equilibrio, e questa forza provenire da magnetismo polare, perocchè se l'ago si ponga nella stessa direzione e coi poli per versi contrarî, esso non vi resterà, ma si rimetterà come prima dopo le solite vibrazioni. Or poichè lo stesso si osserva con un ago calamitato sospeso ad un filo senza torsione, ed in tutte le regioni del globo, a tutte le altezze ed a tutte le profondità cui l'uomo è pervenuto, i fisici dopo Gilbert (2) han conchiuso essere il nostro pianeta una calamita la quale diriger deve l'ago secondo la linea de'suoi poli de'quali uno sarebbe verso borea e l'altro verso austro, e però quel polo dell'ago che dirigesi verso il primo si è denominato *polo australe*, e l'altro *polo* si è detto *boreale* dell'ago; e ciò per dare a questi poli nomi opposti a quelli de' poli magnetici del-

(1) Le calamite artificiali possono ricevere diverse figure, ma non avranno poli ben distinti se non abbiano una forma allungata. Comunemente han forma di prismi a base rettangolare e se sono grandette diconsi *verghe magnetiche*. Le piccole verghe poi prendono il nome di *aghi magnetici* o *calamitati*, specialmente quando son mobili sia in un piano orizzontale sia in un piano verticale. Quando si vogliono rendere mobili in un piano orizzontale si sospendono per mezzo di un uncinetto ad un filo di bozzolo siccome di sopra abbiam veduto, oppure si pongono bilicati sopra una punta di acciaro, ed in questo caso la punta entra in una cavità di figura conica comunemente in pietra dura che trovasi collocata in un foro fatto nel mezzo dell'ago, e questa pietra con l'anzidetta cavità conica è detta *cappelletto*. Agli aghi si dà per lo più la forma di rombi molto allungati.

(2) *De magnete magneticisque corporibus, et magno magnete tellure.*

la terra, secondo la legge di sopra indicata, che i poli di nomi contrari si attraggono e quelli dello stesso nome si respingono. Ma quando parlandosi de'poli di una calamita si usassero le voci *polo nord, polo sud*, s'intende quello che si rivolge verso nord o quello che si volge verso sud.

Fu da prima creduto che l'ago magnetico si dirigesse perfettamento da nord a sud secondo la direzione cioè del meridiano terrestre o astronomico, ma Cristoforo Colombo nel 1492 attraversando l'Oceano per andare alla scoperta del nuovo mondo si avvide dell'errore in cui si era, e però dopo si è veduto, esser ciò vero solo per alcuni luoghi e non sempre, ma in generale la direzione dell'ago essere in una linea più o meno prossima al meridiano terrestre.

Il piano verticale che possa per la direzione dell'ago calamitato mobile in un piano orizzontale ed al coperto di qualunque cagione perturbatrice dicesi *meridiano magnetico*. Supponete che sopra un piano orizzontale sia segnata una linea meridiana, *dm*, (*fig.* 125), linea cioè nella quale a mezzo giorno cadrebbe l'ombra di uno stiletto verticale collocato in un punto della medesima, e supponete che in vece dello stiletto o gnomone sorga una punta di acciaro sulla quale poggi il cappelletto di un ago calamitato *ab*, la direzione di questo ago vi darà quella del meridiano magnetico siccome la linea *dm* vi dà la direzione del meridiano astronomico, e vi sarà agevole notare come questi due meridiani tra loro s'intersecano, il che costituisce ciocchè chiamasi *declinazione*, ed *angolo di declinazione* addimandasi il più piccolo angolo che il polo australe dell'ago fa col meridiano astronomico. Ogni ago mobile in un piano orizzontale dicesi *ago di declinazione*, e *bussole di declinazione* diconsi gli strumenti co'quali l'anzidetto angolo si misura.

FIG. 125.



La declinazione dicesi *orientale* o *occidentale*, secondo che il polo australe dell'ago si pone ad oriente o ad occidente, questa è almeno la convenzione pel nostro emisfero magnetico boreale, perocchè nell'opposto emisfero la declinazione si riferisce al polo boreale.

Per darvi un'idea della maniera come variano le declinazioni al variare de'luoghi nello stesso tempo, senza alcuna regolarità, vi presento nella seguente tabella le declinazioni osservate sull'equatore terrestre e sul parallelo della media latitudine di 45° del nostro emisfero per le longitudini occidentali prese di 10 in 10° fino a 360° Le declinazioni orientali sono segnate col segno —.

LONGITUDINI OCCIDENTALI	DECLINAZIONI		LONGITUDINI OCCIDENTALI	DECLINAZIONI	
	EQUATORIALI	PARALLELO MEDIO		EQUATORIALI	PARALLELO MEDIO
0	19	22	180	—10	—11
10	19	25	190	— 9	— 8
20	16	26	200	— 8	— 4
30	11	25	210	— 5	— 2
40	4	24	220	— 3	— 1
50	— 3	20	230	— 2	1
60	— 5	11	240	0	0
70	— 8	3	250	0	— 3
80	—10	— 4	260	— 1	— 4
90	—10	—11	270	— 3	— 4
100	— 8	—17	280	0	— 4
110	— 6	—18	290	0	— 2
120	— 5	—19	300	2	1
130	— 5	—19	310	7	5
140	— 6	—19	320	11	10
150	— 6	—19	330	13	14
160	— 7	—17	340	17	17
170	— 9	—14	350	18	22
180	—10	—14	360	19	

La declinazione che varia nello stesso tempo al variare de'luoghi varia poi nello stesso luogo al variare de'tempi, per cui la declinazione che in un paese era orientale p. e., a poco a poco scemando è diventata occidentale per tornare nel corso di molti anni a diventare orientale e proseguire così queste secolari vibrazioni ; e però quando in un luogo la declinazione di orientale diviene occidentale del pari che quando segue l'opposto cammino deve passare per lo zero, ossia deve esserci un tempo in cui il meridiano magnetico del luogo coincide col meridiano astronomico, e la declinazione è nulla. È per questo che in ciascun luogo la declinazione è obbietto di quotidiane osservazioni, siccome la pressione atmosferica e le temperature.

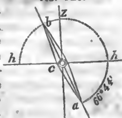
Per darvi un'idea di cotesti cangiamenti della declinazione e della loro lentezza vi dirò , che a Parigi nel 1633 non vi era declinazione, essendo stata innanzi orientale. Dal 1633 divenne orientale e crebbe per 160 anni in modo che toccò il suo massimo nel 1823 in cui divenne di 22°, 23'. Ora poi va scemando per modo che nel 1850 era già arrivata a 20', 34'.

La serie de'punti in cui la declinazione è nulla nello stesso tempo forma le così dette *linee senza declinazione*, siccome *linee isogoniche* o di eguale declinazione diconsi quelle che uniscono i punti ne'quali la declinazione è la stessa.

L'ago essendo menato nel meridiano magnetico per semplice moto di rotazione e non tendendo ad esser trasportato per verun verso, ne segue che l'azione direttrice che la terra esercita sul medesimo può ben essere rappresentata da una coppia, cioè da un sistema di due forze eguali opposte e parellele, ed i due punti di applicazione di queste forze sono i veri poli dell'ago, onde la linea di questi rappresenta veramente la direzione del meridiano magnetico. E siccome questa linea non sempre passa per le punte dell'ago quando questo abbia la consueta figura di un rombo molto allungato, nè per lo mezzo del prisma se l'ago abbia questa figura, ossia l'asse magnetico non sempre coincide con quello di figura, perciò è mestieri saper determinare questa linea o asse magnetico dell'ago calamitato, altrimenti si conoscerà la declinazione apparente e non la vera declinazione; ma questa si può avere prendendo la media delle due declinazioni apparenti osservate col medesimo ago una volta bilicato come al solito, ed un'altra volta al rovescio vale a dire volgendo sotto la faccia ch'era sopra (1). Per tal modo si può conoscere la linea de' poli, ma non si può determinare il sito di ciascun polo in questa linea, perocchè esso dipende dalla distribuzione del magnetismo nell'ago.

Inclinazione. Un ago di acciaro mobile in un piano verticale a mo'di un àsta di bilancia e come questa perfettamente equilibrato in giacitura orizzontale, quando si è calamitato non rimane in questa giacitura, ma interseca la linea orizzontale in modo che ne' nostri climi il polo australe si abbassa ed il boreale si eleva, e questo appunto costituisce il fatto della *inclinazione*. Il più piccolo angolo che il polo australe fa con l'orizzonte quando l'ago è mobile in un piano verticale che coincide col meridiano magnetico dicesi *angolo d'inclinazione*. Gli strumenti ordinati a misurare quest'angolo diconsi *bussole d'inclinazione*. Supponete che *hh* (*fig.* 126) rappresenti una linea orizzontale messa nel meridiano magnetico e che un ago calamitato possa liberamente muoversi nel piano anzidetto intorno di un asse che passi per lo centro di gravità dell'ago perpendicolarmente al meridiano suddetto, se quest'ago prenda la giacitura di quiete nella direzione *a b*,

FIG. 126.



(1) V. il Pouillet Elem. ec. t. I.

l'angolo *h c a* sarà la misura della inclinazione, supponendo che la linea de'poli passi per le punte dell'ago, ossia che l'asse magnetico coincida con quello di figura.

Partendo della nostra latitudine ed andando verso l'equatore, seguendo sempre il medesimo meridiano, si osserva una continua diminuzione nell'agolo d'inclinazione e si trova un punto in cui la inclinazione è nulla, ossia in cui l'ago si pone orizzontale, e passando oltre l'inclinazione ricomparisce per versi contrari, vale a dire il polo australe va sopra ed il boreale sotto la linea orizzontale. Questo stesso si osserva sopra ogni meridiano, per cui si conchiude esservi presso all'equatore una linea senza inclinazione, e questa si chiama *equatore magnetico della terra*. L'equatore magnetico serpeggia intorno all'equatore terrestre, ma non se ne allontana verso sud o verso nord per una latitudine maggiore di 15 in 16°. Questa è da reputarsi come la linea neutra della grande calamita che abitiamo, linea che ci fa distinguere i due emisferi magnetici della terra che sono il boreale e l'australe.

Ma se noi invece di andare verso l'equatore, ci dirigeremo verso nord, vedremo la inclinazione sempre più crescere e potremo pervenire ad un punto in cui l'ago si pone verticale come il filo a piombo, col polo australe rivolto verso la terra, e questo punto in cui si ha la massima inclinazione ch'è di 90° si chiama *polo magnetico boreale* della terra. Questo punto fu dal Capitano Ross trovato a 70° di latitudine e 90° di longitudine occidentale. E poichè passato l'equatore magnetico la inclinazione cresce eziandio con le latitudini ma in verso contrario a quello che vediamo nel nostro emisfero boreale, è ben ragionevole il conchiudere che ci debba essere un altro punto in cui l'ago dia similmente un' inclinazione di 90°, ma col polo boreale sotto, il quale punto sarebbe il polo magnetico australe della terra. Questo però non si è incontrato ancora perchè nessun naviglio ha potuto spingersi tant'oltre, ma si è potuto determinarlo col calcolo partendo dalle osservazioni circumpolari.

La inclinazione varia nello stesso luogo al variare de'tempi, il che induce a credere che anche i poli magnetici della terra debbano subire uno spostamento.

Dalle cose dette s'intende che l'ago di declinazione affinchè possa muoversi in un piano orizzontale non può star sospeso o bilicato pel suo centro di gravità senza un contrappeso che distrugga la inclinazione, altrimenti dovrà avere un braccio più pesante dell'altro, e questo contrappeso dovrà essere maggiore dove la inclinazione è più grande. Laonde l'ago si deve considerare sotto l'imperio di due componenti l'una orizzontale e l'altra verticale, e però neutralizzando questa con un contrappeso l'ago ubbidirà alla so-

la componente orizzontale, come d'altra banda se si giunge a neutralizzar quella nel modo che appresso vedremo, l'ago si ridurrà verticale. Ma quando l' ago è giunto ad uno de' poli magnetici della terra, la forza essendo tutta varticale, se voi la neutralizzate con un contrappeso, esso rimarrà senza direzione o *pazzo*, come lo dicono.

Bussola di declinazione. Voi già conoscete l'uso cui è ordinato questo strumento, ma non ancora avete idea della sua congegnazione, la quale è varia. Quando deve avere maggiore precisione e prender luogo tra gli strumenti di un osservatorio è formato nel modo espresso della figura 127. Entro una scatola di rame cilindrica sta bilicato, sopra una punta che sorge dal centro del fondo, l'ago calamitato il quale ha il cappelletto fatto in modo che possa l'ago rovesciarsi per vedere se l'asse magnetico coincida con quello di figura, nel modo che di sopra fu detto. Quest'ago si tiene orizzontale senza contrappeso perchè ha un polo più pesante dell'altro, in guisa che se venisse scalamitato, non starebbbe più in equilibrio. Nel fondo della scatola ci ha un cerchio graduato sul quale si leggono le divisioni cui le punte dell'ago corrispondono. La scatola è coperta da un vetro per preservare l'ago dalle agitazioni dell'aria. Essa può girare intorno rimanendo fisso il suo piede livellato mercè le viti *v*, *v'*. Intorno alla scatola sta un cerchio graduato *z z'* che chiamasi *cerchio degli azimut*. Due nonî uno de' quali si vede in *n*, sono fissati agli orli della scatola in opposte direzioni ed ordinati a misurare di quanti gradi essa si fa girare, sia partendo dallo zero sia da una divisione qualunque del cerchio degli azimut.

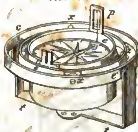
FIG. 127.

t t è un cannocchiale sostenuto dall'asse *e e'* parallelo al cerchio degli azimut ed il cui mezzo corrisponde sulla punta che sostiene l'ago. Il cannocchiale porta un nonio *i s* chè scorrendo sull' arco graduato *u u* fa conoscere l'angolo della visuale con l'orizzonte.

Per osservare con siffatto strumento la declinazione, si fa rotare la scatola per condurre nel campo del cannocchiale un astro conosciuto di cui si determina l'altezza, ed in pari tempo si legge la divisione corrispondente del cerchio dell'ago e del cerchio degli azimut; si avrà così l'angolo che il meridiano magnetico fa col piano verticale o azimut dell'astro nel momento dell'osservazione. Trovato poi co'metodi astronomici l'angolo che l'azimut dell'astro fa col meridiano del luogo, se ne deduce quello che questo fa col meridiano magnetico ossia la declinazione.

La *bussola nautica* detta anche *compasso delle variazioni* (*fig.* 128) è quella di cui si fa uso sulle navi: essa è una bussola di declinazione alquanto diversamente conformata. Prima di tutto la scatola di rame dentro la quale l'ago è bilicato è situata in modo che possa tenersi presso a poco orizzontale con le agitazioni del mare, il che si consegue con la così detta *sospensione di Cardano*, che consiste nel potersi muovere intorno a due assi orizzontali che segansi ad angoli retti.

FIG. 128.



Sull'ago è incollato un disco di cartone con lembo graduato e con una stella in mezzo a 32 raggi o *rombi* uno de'quali corrisponde sul polo nord dell'ago ed è contrassegnato con un giglio come quelli che sono nello stemma de' nostri Principi. Questo disco dicesi *rosa de'venti*. Invece del cannocchiale ci ha sull'orlo della scatola due traguardi per prendere un'azimut. Nella navigazione a piccole distanze si va con la *bussola corretta*, perchè a piccole distanze non essendovi sensibili variazioni di declinazione, non si ha bisogno di determinarla in mare, e si tiene conto di quella del luogo d'onde si parte. La bussola in questo caso è senza traguardi.

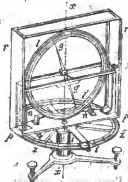
Di questo strumento è tenuto per inventore l'amalfitano Flavio Gioja, ma molti risolutamente lo negano mostrando come i Cinesi ed altri conoscessero già l'uso dell'ago calamitato. E veramente non pare che il Gioja fosse lo scopritore della virtù dell'ago di dirigersi sotto l'azione della terra, e probabilmente neppure fosse il primo ad averne usato, ma crediamo essere stato l' inventore vero dello strumento che ha il nome di bussola nautica, e quel giglio che si trova generalmente in tutte le bussole sul polo nord dell'ago è pur esso una prova che questo strumento sia stato inventato sotto la dominazione di quella dinastia che ha il giglio nello stemma; ed ai tempi di Gioja, moderatori di queste contrade erano gli Angioini, cadetti della casa di Francia. Ma del resto tra noi la

tradizione è passata così costante ed inalterata che anche sola basterebbe a dimostrare, che il nostro Amalfitano non potea venire in sì gran fama senza essere l'autore di una così importante scoperta.

L'ago di declinazione è usato in agrimensura, negli scavi delle miniere ec., e si hanno bussole diverse ordinate a questi usi, delle quali non è mestieri che io tenga particolare discorso.

Bussola d'inclinazione. Questa consiste essenzialmente in un ago d'inclinazione il cui asse di rotazione coincide con quello di un cerchio verticale graduato *ll* (*fig.* 129) il quale può girare intorno dell'asse verticale $z z'$ e si suole chiamare *cerchio degli azimut*. Quando il cerchio verticale sta nel meridiano magnetico, allora è agevole il misurare la inclinazione, ma quando si trova in un altro azimut, l'angolo d' inclinazione aumenta e diviene di 90°, ossia l'ago si riduce verticale quando il piano del cerchio anzidetto è perpendicolare al meridiano magnetico, perocchè in questo caso distrutta l'azione della componente orizzontale, l'ago deve ubbidire interamente alla componente verticale. Si ricava dunque da questo una regola per collocare il cerchio verticale o degli azimut nel meridiano magnetico, la quale consiste nel girare questo cerchio fino a che l'ago si riduce verticale, e poi partendo da questa giacitura girarlo intorno dell'asse $x x'$ per 90° misurati sul cerchio orizzontale. Una cassa di lastre $r r p p$ mette l'ago al coperto delle agitazioni dell' aria. Lo strumento poi si riduce orizzontale mercè le solite viti ed una livella.

FIG. 129.



Per determinare con esattezza la inclinazione è mestieri ricalamitare l'ago in verso contrario, ossia rovesciarne i poli per correggere l'errore che potrebbe provenire dal non coincidere perfettamente l'asse di rotazione col centro di gravità del medesimo.

Que'luoghi ne' quali la inclinazione è la stessa formano le linee di *eguale inclinazione o isogliniche*, dette anche *paralleli magnetici*.

Per una descrizione più minuta della bussola di declinazione e d'inclinazione potete riscontrare il trattato del magnetismo di Becquerell.

Gauss e Weber hanno inventati strumenti anche più precisi per la misura della declinazione e della inclinazione, e quantunque siansi da loro e da altri in Germania ed in Inghilterra molto va-

riati e richieggano cognizioni matematiche alquanto elevate, pure ve ne dirò qualche cosa in meteorologia ove debbo ritornare sull'argomento del magnetismo terrestre. (1)

La declinazione e la inclinazione soffrono delle *variazioni* e delle *perturbazioni* indipendentemente da que' cangiamenti che abbiamo di sopra indicati. Così l'ago di declinazione presenta ogni giorno periodicamente una variazione che non oltrepassa i 12 in 13' nel seguente modo. La mattina il polo australe comincia a deviare verso occidente e continua lentamente fino alle 2 p. m., indi ritorna verso oriente fino alle 10 o alle 11 della sera, e rimane fermo fino alla mattina seguente in cui ricomincia la nuova *variazione diurna.*

Secondo le osservazioni di Cassini l'ampiezza della variazione diurna è maggiore nella state che nell'inverno: ne' sotterranei dell'osservatorio di Parigi, ove come vedremo la temperatura è la stessa in tutto l'anno, l'ago di declinazione presenta le stesse variazioni di quello che trovasi sull'osservatorio anzidetto. Nelle regioni più settentrionali le variazioni diurne hanno maggiore ampiezza e giungono al massimo verso la sera per cui l'ago si muove anche durante la notte. E per contro andando verso l'equatore si hanno variazioni diurne di minore ampiezza. Ma oltrepassato l'equatore magnetico non è più il polo australe che la mattina devia verso l'occaso, ma sibbene il boreale.

Per osservare coteste variazioni diurne dell'ago di declinazione ci ha uno strumento apposito che dicesi bussola delle *variazioni diurne* di cui potete vedere la descrizione nella fisica del Pouillet o nell'opera di Becquerel di sopra citata, ma molto meglio si osservano con uno degli strumenti del Gauss de' quali testè facemmo menzione.

Anche l'ago d'inclinazione presenta le sue variazioni diurne, ma con minori ampiezze. Per la qual cosa si dee conchiudere, che se un ago potesse muoversi per ogni verso intorno al suo centro di gravità ciascuno de'suoi poli descriverebbe ogni giorno un cono la cui base sarebbe un'ellissi o altra curva allungata.

Secondo un'antica osservazione del P. della Torre, ripetuta poi dal nostro astronomo Ernesto Capocci, la declinazione soffre talvolta un rapido cangiamento o una *perturbazione* di qualche grado quando il Vesuvio è in eruzione. Il fulminè in vicinanza dell'ago giunge a scalamitarlo talvolta, ed anche a ricalamitarlo in verso contrario, il che essendo talora avvenuto sull'ago della bus-

(1) *Resultate aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins; herausgegeben von Gauss und Weber.*

sola in mare senza che il pilota lo sapesse, ha messo la nave in grave pericolo. Le aurore boreali delle quali discorreremo in meteorologia hanno il potere di far subire delle perturbazioni all'ago di declinazione a distanze molto grandi.

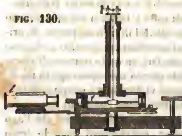
Fra le cagioni perturbatrici che operano sull'ago calamitato è da annoverare il tremuoto, e pare che per siffatto fenomeno l'ago d'inclinazione patisca perturbazioni più sensibili di quello di declinazione. Daniele Bernouilli nel 1767 osservò la inclinazione scemare di un grado per effetto di un tremuoto. Potrei dirvi brevemente le osservazioni da me fatte in occasione del tremuoto che distrusse Melfi ed altri paesi nel 14 agosto del 1851, e che continuamente si replicò con minore intensità per alcuni mesi. Il professore Scacchi ed io giungemmo in que'luoghi, spediti dalla nostra R. Accademia delle scienze, il 18 settembre e ci trattenemmo fino a' primi dì di ottobre, e durante la nostra dimora vi furono alcune scosse tra le quali una molto sensibile nel dì 27 settembre. In questa congiuntura ho potuto fare delle osservazioni che credo di qualche importanza, ma di esse vi terrò discorso in meteorologia non essendo ancora pubblicata la nostra relazione all' Accademia delle Scienze.

Sull'ago calamitato finalmente si è detto di avere efficacia la neve le procelle ec., ma non si hanno osservazioni precise e sicure sul proposito.

Intensità del magnetismo terrestre. La intensità della forza magnetica della terra si può misurare o in una maniera assoluta o in una maniera relativa, siccome vedemmo potersi fare per la gravità. Quando si voglia conoscere solo la ragion che passa tra la intensità di questa forza in due luoghi della terra, l'ago d' inclinazione o quello di declinazione mercè le loro vibrazioni potranno, considerati come pendoli vibranti sotto l' imperio del magnetismo della terra, essere all'uopo accomodati. Ed in vero supponete da prima l'ago d'inclinazione messo nel meridiano magnetico e rimosso dalla sua giacitura di quiete; questo farà un certo numero di vibrazioni in un dato tempo. Trasportate questo medesimo ago in un altro luogo e vedete quante vibrazioni vi darà in un tempo eguale al primo, le due intensità saranno tra loro come i quadrati de' numeri delle vibrazioni fatte in tempi eguali. Tutto ciò suppone che l'ago non solo sia materialmente lo stesso, ma che resti anche lo stesso magneticamente, vale a dire che la sua forza non sia cangiata, ed il suo magnetismo non abbia mutato distribuzione, perocchè il magnetismo non è come la gravità ch' è sempre proporzionale alla massa, ed il numero delle vibrazioni dell' ago dipende, poste le altre cose eguali, dalla forza del suo magnetismo. E d' altra banda

quel che era il centro di vibrazione nel pendolo, è ciascun polo nell'ago, per cui se il magnetismo restando lo stesso solo diversamente si distribuisse, i poli muterebbero sito, e quindi il medesimo ago rappresentando un pendolo diverso dovrebbe sotto l'impeto della stessa forza dare vibrazioni di diversa durata. Ecco perchè dopo aver fatte molte osservazioni in un viaggio, al ritorno si verifica se ne' medesimi luoghi si ha il medesimo numero di vibrazioni, perchè allora è segno che l'ago si è conservato magneticamente lo stesso, ma trovando lievi differenze, si resta nel dubbio se queste derivino da variazioni nella intensità del magnetismo del globo avvenute nell'intervallo tra le due osservazioni, o in quella del magnetismo dell' ago. Se per altro coteste variazioni fossero molto forti, si ha tutta la ragione di credere che l'ago non siasi mantenuto senz' alterazioni. Quando s'abbia a determinare la inclinazione, ricalamitando l'ago per versi contrarî si può vedere se il centro di gravità del medesimo corrisponde perfettamente con l'asse di rotazione, ma qui non potendosi ciò eseguire per non alterare la forza dell'ago, rimane sempre qualche cagione di errore. Ecco perchè più spesso si ricorre all' ago di declinazione; e siccome in questo opera solo la componente orizzontale la quale è più piccola dove l'inclinazione è più grande, così si ha bisogno di conoscere anche l'inclinazione de'luoghi, ed il paragone delle forze si fa mercè una formola. (1) Ma l'ago di declinazione offre anche il vantaggio di potersi più facilmente equilibrare, e sospeso ad un filo senza torsione presenta meno attrito, sebbene per la tendenza dell'ago a prendere la inclinazione, la direzione del filo non passando per lo centro di gravità del medesimo, si ha eziandio una cagione di errori.

FIG. 130.



L'ago di declinazione adoperato per la misura delle intensità relative del magnetismo terrestre è comunemente disposto nel modo dinotato dalla figura 130, la quale rappresenta lo strumento conosciuto col nome di bussola delle intensità. Ivi vedete l'ago i sospeso in una scatola di rame ad un filo di bozzolo, ed un microscopio l per osservare

(1) Chiamando m ed m' le intensità del magnetismo terrestre di due luoghi diversi, i ed i' le inclinazioni corrispondenti a'medesimi, ed n ed n' i numeri delle vibrazioni fatte in tempi eguali, si ha $m \cos i : m' \cos i' = n^2 : n'^2$ ossia $m : m' = n^2 \cos i' : n'^2 \cos i$.

le vibrazioni piccolissime che compie l'ago deviato per pochi gradi dalla sua giacitura di quiete. Ma oggi la scienza possiede altri strumenti detti *magnetometri* de'quali vi discorrerò in meteorologia, per quanto i limiti di queste lezioni il comportano.

Se intanto si volesse coll'uso dell'ago calamitato considerato come pendolo determinare il valore assoluto del magnetismo terrestre, sarebbe mestieri conoscere il vero sito di ciascun polo dell'ago, che abbiam detto essere impossibile a determinare, nell'atto che la meccanica insegna il metodo per trovare il centro di vibrazione del pendolo. Ecco perchè Gauss il primo additò un altro metodo per le misure assolute della intensità della forza magnetica della terra (1) e dopo fece eseguire de' magnetometri per ottenere siffatte misure.

Linee isadinamiche diconsi quelle che uniscono i punti in cui le intensità sono eguali. Nel valutare la intensità bisogna tener conto delle temperature che alterano la forza degli aghi.

Dell' azione della terra sul ferro dolce. Considerata la terra come calamita, deve esercitare la sua azione sopra tutt'i corpi, or che tutti son reputati paramagnetici o diamagnetici, e sopra questi ultimi deve esercitare una virtù ripulsiva che per la poca intensità non ci è dato di osservare. Ma cotesta azione della terra dovrà manifestarsi sensibile sul ferro dolce come quello che essendo il tipo de'corpi paramagnetici o magnetici, ha debole forza coercitiva. Ed in fatti si può con molta facilità vedere come la terra induca magnetismo nel ferro dolce in quella guisa appunto che farebbe una calamita.

Se un cilindro di ferro dolce si ponga con uno de' suoi estremi in contatto con un polo di una calamita esso diverrà, siccome fu altrove dichiarato, anche calamita, ma in modo che sarà quell' estremo che tocca la calamita sempre un polo di nome contrario a quello che tocca, e l'altro opposto sarà dello stesso nome. Quella parte del ferro dunque che tocca il polo australe della calamita sarà polo boreale, e per contro diverrà australe quell'estremo che tocca il polo boreale della calamita. L'effetto si ha eziandio a distanza ma meno intenso. E se un ago di ferro si trovi orizzontalmente sospeso o bilicato tra i poli di una calamita questo si dirigerà secondo la linea di quelli, appunto perchè in esso è stato indotto il magnetismo polare, e però quell'estremo che si è diretto verso il polo boreale della calamita è diventato polo australe, e boreale quello che si è rivolto verso l'australe della calamita.

(1) V. la sua memoria intitolata: *Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata.*

Da ciò deriva che quando un piccolo ago calamitato si accosta ad una forte calamita co' poli dello stesso nome di rincontro, mentre vedesi da prima la ripulsione, pure a distanze molto piccole si vede questa mutarsi in attrazione, il che deriva dal subire la piccola calamita l' influsso della grande in modo che il suo magnetismo proprio, o meglio, la sua polarità sparisce a fronte dell' altra indotta dalla calamita di gran forza, e talvolta il piccolo ago resta dopo l'esperienza co' suoi poli permanentemente invertiti.

Ciò premesso se collocate un cilindro di ferro dolce orizzontalmente nel meridiano magnetico, lo troverete calamitato in modo che l'estremo che trovasi verso nord sarà diventato polo australe e boreale l'altro che guarda a sud. Questo puossi agevolmente verificare accostando all'anzidetto ferro un piccolo ago di declinazione. Capovolgendo questo ferro vedrete invertirsi la concepita polarità per modo che sempre si avrà il polo l'australe verso nord ed il boreale verso sud. Se la verga di ferro anzidetto si disponga verticalmente il capo inferiore diverrà polo australe e polo boreale quello di sopra. Il massimo effetto si ha quando il ferro è collocato secondo la direzione dell'ago d'inclinazione. Ci ha poi delle giaciture in cui cotesto fenomeno non deve avverarsi come, per esempio quando, la verga di ferro è collocata in direzione perpendicolare al meridiano magnetico. Ed in generale, se quando il ferro è temporaneamente calamitato e si capovolge per invertirne i poli, deve passare per una giacitura in cui il suo magnetismo è nullo. Se il ferro si faccia rotare in un piano orizzontale esso si terrà neutro quando è perpendicolare al meridiano magnetico, siccome testè dicevamo. Se si faccia rotare in un piano verticale perpendicolare al meridiano magnetico, si avrà neutro quando è orizzontale, ossia nella giacitura che corrisponde a quella quì sopra indicata. Se poi la verga di ferro si faccia rotare nel meridiano magnetico, sarà senza magnetismo polare in una giacitura presso a poco perpendicolare alla direzione dell'ago d'inclinazione.

Dalle cose dette intendete come i ferri che fan parte di un edifizio debbano esercitare la loro azione sugli strumenti magnetici declinatori o inclinatori, non solo per l'azione che la calamita esercita sopra questi ferri inducendo magnetismo polare ne' medesimi, da cui ne risulta attrazione o ripulsione, ma specialmente perchè questi ferri per le giaciture nelle quali si trovano hanno magnetismo indotto dalla terra il quale magnetismo spesso diviene permanente siccome tra poco diremo.

Per la qual cosa in un osservatorio magnetico non si deve adoperare ferro, che non sia secondo la sua massa, a considerevole distanza degli aghi o verghe calamitate degli strumenti.

Come il ferro acquisti la forza coercitiva. Una verga di ferro che sia temporaneamente calamitata dall'azione della terra, se venga battuta a freddo, acquista una certa forza coercitiva per la quale conserva per alcun tempo la polarità che aveva acquistata, ancorchè si tolga da quella giacitura. Pare dunque che quelle modificazioni che il ferro riceve quando si torce si preme o si batte a freddo per cui diviene più elastico più duro e men duttile, modificazione che poi perde coll'arroventarsi e poscia lentamente raffreddarsi, quella modificazione io diceva, nell'ordinamento molecolare del ferro, pare che dia al medesimo una certa forza coercitiva per cui gli rimane più o meno durevole la polarità indotta dal magnetismo terrestre. E queste azioni meccaniche possono entro certi limiti operare anche sull'acciaro o non temperato affatto, o temperato debolmente, per cui raramente vi accadrà di trovare nella bottega di un magnano un succhiello o altro strumento che non serbi almeno qualche ombra di magnetismo polare.

La lenta ossidazione del ferro esposto all'ambiente, par che dia anche al medesimo la forza coercitiva ossia la virtù di rendere permanente il magnetismo temporaneo indotto dalla terra. Un tale Giulio Cesare chirurgo di Rimini fu il primo (1590) ad avvedersi che una verga di ferro che facea parte del campanile della chiesa di S. Agostino, erasi trasformata in calamita. La stessa osservazione fu fatta più tardi da Gassendi verso il 1630 sulla croce del campanile di S. Giovanni d'Aix: le osservazioni di questo genere sonosi poi le mille volte ripetute.

Da ciò segue, che essendo le calamite naturali ossidi di ferro, avrebbero potuto in origine ricevere la loro polarità dalla terra.

Errori della declinazione osservata sulle navi. Nelle navi si fa uso di molto ferro, di cui parte entra nella struttura stessa della nave e parte spetta agli attrezzi della medesima. I pezzi del primo genere son fissi, come i chiodi per esempio; più o meno mobili sono quelli del secondo, come le ancore, i cannoni di ferro fuso ec. Tutti questi pezzi di ferro sparsi quà e là sulla nave perturbano la declinazione in modo da potervi indurre talvolta un errore di 15 in 20°.

Un tal fatto fu avvertito la prima volta da Wales astronomo della spedizione di Cook, Downie ne indicò la vera cagione, ed il capitano Filinders, navigatore intrepido, fu il primo a tentar modo di mettersi al coperto degli errori di sopra indicati; ma dopo che il Bain chiamò, non ha gran tempo, nuovamente l'attenzione dei fisici sopra questo subbietto, il professore Barlow di Woolwich, in un'opera coronata dalla società Reale di Londra, indicò la maniera di poter conoscere la vera declinazione sulle navi, mercè uno strumento detto *com-*

pensatore magnetico. L'uso per altro di questo strumento è assai raro, perocchè quantunque molto semplice, richiede una certa abilità, nè può essere adoperato senza molta diligenza. Chi vorrà formarsene un' idea potrà consultare, oltre il lavoro originale del Barlow, la maggior parte de' libri elementari di fisica tra quali quello del Pouillet. A noi basta il notare come i ferri della nave debbano in tre modi perturbare la declinazione dell' ago; 1° per l'attrazione consueta come corpi magnetici, ovvero per l'influsso che il magnetismo dell'ago esercita sopra i medesimi inducendovi magnetismo temporaneo (1); 2° pel magnetismo permanente che alcuni pezzi di ferro possono avere per le cagioni di sopra indicate, e 3° finalmente pel magnetismo temporaneo che i varî pezzi di ferro acquistano per l'azione della terra secondo le loro giaciture per rispetto al meridiano magnetico. Quando i ferri sono ad una certa distanza dalla chiesola, si evitano le perturbazioni del primo genere, quelle del secondo non sono generalmente molto forti e si possono più agevolmente conoscere, le ultime sono variabili secondo la diversa situazione della nave e sono quelle che più monta conoscere ed apprezzare.

È da notare finalmente che i cronometri sogliono ritardare in presenza delle calamite, di alcuni secondi per giorno, e ciò probabilmente deriva dal magnetismo che viene indotto sopra i piccoli pezzi di acciaro che fan parte del cronometro da cui risulta un maggiore attrito; per cui convien tenerli il più che sia possibile, in mare, lontani dagli aghi e dalle grandi masse di ferro che per lo meno hanno il magnetismo indotto dalla terra.

LEZIONE III.

MISURE, LEGGI ED IPOTESI DEL MAGNETISMO.

Il modo più grossolano per valutare la forza di una calamita consiste nell'accostarle un pezzo di ferro e poi vedere qual peso è necessario per distaccarnelo. Ma Coulomb si avvalse del metodo dinamico delle vibrazioni e del metodo statico della bilancia di torsione.

Vibrazioni. Una calamita bilicata o sospesa ad un filo senza torsione abbiamo detto potersi considerare come un pendolo, ma abbiamo soggiunto essere impossibile determinare in modo assoluto la forza generatrice delle vibrazioni in quella maniera che si è pro-

(1) L'attrazione scambievole tra il ferro e la calamita riducesi a quella tra due calamite una permanente ed un'altra temporaria, perocchè il ferro in presenza della calamita diviene anch'esso calamita.

ceduto per la gravità (1). E questa forza poi è l'effetto non solo del magnetismo della suddetta calamita, ma eziandio di quello dell' altra che si fa operare sopra di essa, per cui se ciascuna di tali forze diventasse doppia la risultante diverrebbe quadrupla.

Per la qual cosa col metodo delle vibrazioni si possono solo comparare tra loro le risultanti totali delle forze che generano i moti di vibrazione nelle calamite mobili. Perocchè qualora il cangiamento d' intensità non arreca spostamento sensibile ne' poli, l'asse di rotazione e quindi il momento d'inerzia rimanendo lo stesso, si potrà sempre partire dal principio che le forze siano tra loro come i quadrati de' numeri delle vibrazioni fatte in tempi eguali. Se dunque si tratta di comparare le forze di un medesimo ago in due tempi diversi, supponendo che non ci sia stato spostamento ne' poli, basterà comparare i quadrati de' numeri delle vibrazioni fatte in tempi eguali, supponendo inoltre che il magnetismo terrestre non abbia sofferto cangiamento sensibile.

Se la calamita non si può sospendere, si pone nel meridiano magnetico con la linea de'poli, ed innanzi ad essa si fa vibrare un piccolo ago calamitato di gran forza coercitiva, sapendo prima quante vibrazioni esso faceva in un dato tempo per la sola azione della terra, è agevole conoscere quante procedono dall'azione della calamita, e quindi fatta questa operazione due volte in due tempi diversi, collocando l'ago sempre alla medesima distanza, con un computo molto facile si paragonano le forze corrispondenti a questi due tempi (2).

(1) Abbiamo omesso, parlando del magnetismo terrestre, di dire che Poisson sia stato il primo a trovare mercè l' uso di due aghi una formola esprimente il valore assoluto del magnetismo terrestre indipendente dalla forza degli aghi che rimane eliminata. Ma in queste lezioni non è permesso di entrare in disquisizioni di analisi sublime, e poi abbiam promesso, nel modo che possiamo, indicare in meteorologia i magnetometri di Gauss e Weber co' quali siffatto scopo meglio si consegue.

(2) Sia n il numero delle vibrazioni che il piccolo ago fa per l'azione della terra in un dato tempo per effetto della componente orizzontale m del magnetismo terrestre; sia n il numero delle vibrazioni che il medesimo ago fa nello stesso tempo per le azioni riunite della calamita e della terra, e dinotiamo con m' la somma delle componenti orizzontali che operano sull'ago. Siano poi m'' ed n le quantità corrispondenti relative alla stessa calamita sottoposta a nuovo sperimento, si avrà da una parte

$$\frac{m'}{m}=\frac{n'^2}{n^2}, \text{ ed } \frac{m''}{m}=\frac{n''^2}{n^2}.$$

Se dunque la linea de'poli della calamita sia nel meridiano magnetico in corrispondenza di quelli della terra, la forza della calamita nel primo

Bilancia di torsione. Questo strumento dipende da alcune proprietà de'fili dotati dell' clasticità di torsione. Considerate un filo metallico teso verticalmente da un peso legato alla parte di sotto, e quando questo peso si è fermato in una giacitura di equilibrio volgetelo intorno, il filo si torcerà in tutta la sua lunghezza e tenderà a svolgersi per ricondurre il peso alla primiera giacitura. Ora Coulomb dimostrò; 1° questa forza di torsione essere proporzionale all'angolo di torsione; 2° nello stesso filo essere in ragione inversa della lunghezza ed independente dallo stiramento; 3° ne'fili della stessa materia e di varia grossezza la forza essere come la quarta potenza de' diametri.

Coteste leggi furono verificate sopra i capelli, sulla seta e sopra i fili di argento, di ferro e di ottone di diversi diametri.

Ciò premesso potrete intendere l' uso della bilancia di torsione espressa nella fig. 131. Essa è formata da una gabbia di lastre di vetro delle quali una, che è quella di sopra, è forata nel mezzo ed al foro è adattato un cannello di vetro *s* con guerniture di rame. Questo cannello ha nella parte di sopra una maniera di coperchio forato da un'apertura triangolare, un vertice della quale corrisponde nel centro del coperchio e nella stessa verticale del centro *c* della gabbia. Sopra di quest' apertura triangolare sta un verricello *v* al quale è raccomandato un filo metallico che ha nell'estremo inferiore in *c* una pinzetta per poter portare gli aghi.

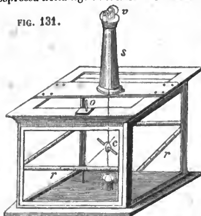


FIG. 131.

Il verricello può girare orizzontalmente intorno al centro del

caso sarà espressa da $m'-m$ e da $m''-m$ nel secondo: si avrà dunque

$$\frac{m'-m}{m}=\frac{n'^2-n^2}{n^2}, \text{ ed } \frac{m'^2-m}{m}=\frac{n''^2-n}{n^2};$$

d' onde si ricava

$$\frac{m''-m}{m'-m}=\frac{n'^2-n^2}{n'^2-n^2}.$$

Questa è la ragione tra le due componenti orizzontali della calamita in due tempi diversi, oppure collocando l'ago a due diverse distanze da essa.

piano del coperchio del cannello *s*, con una graduazione segnata nell'orlo di questo e con un indice da poter fare girare l'anzidetto verricello orizzontalmente per un determinato numero di gradi, ossia da misurare di quanti gradi si fa girare. Intorno alla cassa sopra una striscia di carta ci ha una graduazione *rr* e sotto dell'ago pende una maniera di volante che si fa pescare in un vase di acqua per rallentare le vibrazioni.

Collocato prima in *c* un ago non calamitato si vede quale è la giacitura di equilibrio del filo: indi tolto quest'ago se ne pone un altro dello stesso peso calamitato, e si volge il micrometro per un verso o per l'altro fino a che il piano di equilibrio del filo concida con la direzione di questo ago, allora si è certo che l'ago sta nel meridiano magnetico, ed il filo è senza torsione.

Ora fingiamo che il micrometro si faccia girare tanto che l'ago devii dal meridiano magnetico per 20°, e che per questo il micrometro abbia dovuto farsi girare per 180°. Se il capo inferiore del filo fosse rimasto fisso, la torsione sarebbe di 180°, ma siccome ha girato per 20°, così la torsione effettiva del filo è di 180-20 cioè di 160°; questa forza fa dunque equilibrio alla forza direttrice della calamita con 20° di deviamento, e però la forza direttrice anzidetta avrebbe un valore di $\frac{160}{20} = 8$, per 1° di deviamento.

Posto ora che il medesimo ago avesse ricevuto nuova forza e che fosse mestieri volgere il micrometro per 495° per poterlo deviare di 15° dal meridiano magnetico, la sua forza direttrice sarebbe espressa per ogni grado da $\frac{495-15}{15} = \frac{480}{15} = 32$, cioè sarebbe quadrupla di prima.

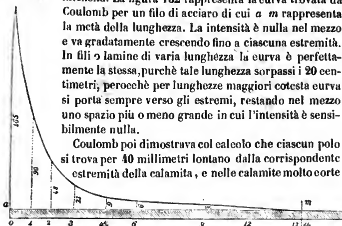
Calando poi per un foro *O* delle verghe calamitate di rincontro ad uno de' poli dell'ago sospeso nella bilancia di torsione e volgendo il micrometro in modo da avere un determinato deviamento di un piccol numero di gradi, sia che si abbia per attrazione, sia che si abbia per ripulsione, si potrà anche misurare la forza magnetica di queste verghe.

Con questo strumento può dimostrarsi che *le forze magnetiche sono in ragione inversa de'quadrati delle distanze*, sebbene la stessa verità possa eziandio dimostrarsi col metodo delle vibrazioni, ma con alcune avvertenze che per brevità omettiamo di additare.

Tanto col metodo delle vibrazioni quanto per mezzo della bilancia di torsione si può determinare la intensità magnetica corrispondente a ciascun punto della calamita. E la distribuzione del magnetismo si può rappresentare all'occhio geometricamente innalzando delle perpendicolari sulla calamita proporzionali alle in-

tensità magnetiche corrispondenti a'punti da' quali sono elevate, ed unendo i loro estremi con una linea (fig. 132) che dicesi curva delle intensità. La figura 132 rappresenta la curva trovata da Coulomb per un filo di acciaro di cui *a m* rappresenta la metà della lunghezza. La intensità è nulla nel mezzo e va gradatamente crescendo fino a ciascuna estremità. In fili o lamine di varia lunghezza la curva è perfettamente la stessa, purchè tale lunghezza sorpassi i 20 centimetri, perocchè per lunghezze maggiori cotesta curva si porta sempre verso gli estremi, restando nel mezzo uno spazio più o meno grande in cui l'intensità è sensibilmente nulla.

FIG. 132.



Coulomb poi dimostrava col calcolo che ciascun polo si trova per 40 millimetri lontano dalla corrispondente estremità della calamita, e nelle calamite molto corte ciascun polo sta a' due terzi della corrispondente mezza lunghezza della calamita, onde i poli si avvicinano sempre più se le calamite maggiormente si accorciano, da simulare talvolta la loro esistenza, come avverrebbe in un anello; e però segue convenire alle calamite le forme allungate. Questi ed altri simili risultamenti sono delle approssimazioni più o meno plausibili, restando perciò sempre vero quello che innanzi dicemmo di non saper noi trovare esattamente il sito di ciascun polo della calamita. Nelle lamine molto larghe ci ha de'poli multiplici o de'*punti conseguenti*.

Ipotesi. La virtù della calamita di attirare a se il ferro era il solo fenomeno magnetico noto a'Greci. Un fatto unico nel suo genere non può altrimenti essere spiegato che per una ipotesi, e questa non può avere neppure quella maniera di prova *a posteriori*, come direbbero i filosofi, la quale consiste nel mostrare come per essa si dia facilmente ragione de' fatti, perocchè il fatto è unico. Non si può d'altronde riportare questo fatto ad un altro più generale nel che starebbe una vera spiegazione, perchè il fatto di cui si parla non ne ha altri congeneri, o di un genere più elevato. Aggiungi a tutto questo la natura delle cognizioni di coloro che tentano la spiegazione di un fatto unico, e vedrai la ragione per la quale certe ipotesi accolte un tempo con qualche favore, vengono più tardi in perfetta dimenticanza. Tali sono certamente le ipotesi dell'anima della calamita nella scuola ionica, della materia adunca in quella di Epicuro, delle emanazioni di Plutarco, de'fili raggianti

di Cornelio Gemma, con altre somiglianti fantasie di Cardano, di Costeo di Lodi, giustamente ripudiate da Gilbert il quale non osò proporre alcuna ipotesi nuova. Cartesio poi fece ricorso a'suoi vortici, ma Epino tenne il fatto dell' attrazione e della ripulsione come primo, e come quello dal quale tutti gli altri possono esser dedotti; ciò non di meno immaginò un fluido nella calamita come cagione di tutt'i fenomeni: allora fu che i fisici pensarono che fosse meglio supporre due fluidi magnetici, e questa ipotesi fu accolta da Coulomb supponendo che siffatti fluidi possano solo patire ne'corpi uno spostamento insensibile e non già diffondersi da una parte all'altra di un medesimo corpo, e molto meno da un corpo ad un altro.

Si suppone dunque in questa ipotesi 1° che il volume di una materia magnetica sia composto di molti spazietti ne' quali ci ha del magnetismo e di altri in cui non ce n' ha; 2° che i due fluidi magnetici si trovino riuniti in un fluido neutro e che possano essere separati quando la forza che opera sopra di essi è atta a vincere la forza coercitiva; 3° che ciascun fluido attrae il suo contrario e respinge il suo omologo ec.

Per la qual cosa un corpo è calamitato quando il fluido neutro è scomposto in ciascun elemento, in guisa che tutti abbiano lo stesso fluido dalla stessa parte, siccome dalla figura 133 è dinotato in cui il bianco ed il nero rappresentano i due fluidi. Sulla ipotesi di Coulomb sono appoggiati i lavori matematici del Poisson intorno ai quali non ci è dato d' intrattenerci. I fenomeni del diamagnetismo da una parte turbano la ipotesi anzidetta, la quale per altro era stata di molto indebolita dalle scoperte intorno all' elettromagnetismo che dettero occasione ad un altra ipotesi, a quella di Ampere, di cui a suo luogo faremo parola.

FIG. 133.



LEZIONE IV.

METODI DI CALAMITARE-ARMATURE.

Per calamitare una verga di acciaro basterà stropicciarne la metà sopra di un polo di una calamita e l'altra metà sull'altro per un certo numero di volte e sempre nello stesso verso, cominciando dal mezzo ed andando verso l'estremo di quella metà che si stropiccia, giacchè strofinando per verso contrario si distruggerebbe il magnetismo eccitato con lo stropicciamento antecedente. La

metà della verga stropicciata sul polo boreale della calamita diviene polo australe, boreale l' altra metà strofinata sul polo australe. Se invece di strofinare le due metà l'una dopo l'altra sopra i due poli di una stessa calamita, si stropiccino contemporaneamente le due metà co'poli di diverso nome di due calamite, si avrà migliore risultamento: in questo caso le calamite calamitanti sogliono essere due verghe di acciaro fortemente calamitate o meglio due fasci di verghe calamitate separatamente e poi riunite. Ma quando si voglia o una migliore distribuzione del magnetismo o una migliore saturazione sogliono i fisici raccomandare l'uso di quattro fasci magnetici, due de'quali si pongono sopra una tavola orizzontalmente e nella stessa linea, co'poli di nome contrario di rincontro (fig. 134.) separati da un certo intervallo, sopra i quali si colloca l'ago o la verga che si vuole calamitare, e due altri fasci che si debbono muovere striscianti sulla medesima o secondo il metodo di di Duhamel detto del *contatto semplice* o secondo quello di Epino ossia del *doppio contatto*.

FIG. 134.



1.° Per procedere nel primo modo si prendono i due fasci mobili uno con la destra ed un altro con la sinistra e si poggiano co'poli di diverso nome nel mezzo della verga, da calamitarsi in modo però che questi poli siano del medesimo nome di quelli de'fasci fissi che sono sotto la verga. Questi fasci dunque inclinati in modo che facciano con la verga un angolo di 25 in 30° si trasportano strisciando verso gli estremi con eguale velocità, indi si alzano e si riportano nel mezzo e si replica la stessa operazione, e così si continua per un certo numero di volte. Questo metodo è raccomandato specialmente per gli aghi da bussola e generalmente per verghette che non abbiano una grossezza maggiore di 4 in 5 millimetri.

2.° Le verghe più grandi non si avrebbero con questo metodo calamitate a saturazione, e però allora si ricorre al metodo di Epino, il quale differisce dell'antecedente solo per la disposizione e per lo modo come si guidano le calamite o i fasci mobili. Le calamite mobili dunque si pongono nel mezzo della verga con una inclinazione più piccola cioè di 15 in 20°, e si fanno andare insieme dal mezzo ad uno degli estremi e poi da questo all'altro estremo, e così continuando in modo da finire nel mezzo venendo dal secondo estremo dopo parecchi stropicciamenti, avendo confricata così ciascuna metà un egual numero di volte. Per fare questa operazione con più di agio è bene fermare le calamite mobili in un triangolo

di legno o di rame rimanendo tra' poli inferiori un intervallo di cinque in sei millimetri che si mantiene costante interponendovi un pezzo di legno. Questo metodo non è commendato per gli aghi da bussole, perocchè si hanno spesso i poli di forze dissuguali, e di rado gli aghi vengono privi di punti conseguenti o poli secondari.

Saturazione. La quantità di magnetismo che prende una verga di acciaro sarà sempre più grande se più forti sono le calamite che si adoperano per calamitarla, ma la quantità di magnetismo che può conservare incontra un certo limite che si chiama *punto di saturazione.* Per la qual cosa sogliono le calamite di fresco calamitate mostrare una forza superiore a quelle che possono poi conservare.

Per conoscere se una verga sia calamitata a saturazione conviene ricalamitarla con calamite più forti e vedere se guadagna molto, perchè questo vuol dire che non ancora era satura, ma se invece riceve piccolo aumento di forza il quale in poco tempo sparisce è segno ch'era calamitata già a saturazione.

Quando la verga è stata stropicciata un determinato numero di volte è inutile stropicciarla di più, perchè non vi guadagna più forza; ma se dopo essere stata calamitata con calamite forti si stropicci con calamite più deboli, a poco a poco la verga andrà perdendo di forza e si ridurrà e quel grado di magnetismo che avrebbe acquistato se fosse stata calamitata con queste calamite più deboli.

Regna poi qualche incertezza relativamente al miglior grado di tempera che convien dare all'acciaro affinchè possa essere più fortemente calamitato e conservi il magnetismo acquistato. La tempera più dura par che dia maggior forza coercitiva ed in conseguenza renda l'acciaro capace di maggior forza magnetica, ma dall'altra parte l'acciaro così temperato spesso mostra soverchia attitudine a prendere de'punti conseguenti, talvolta neppure prende il maggior grado di forza se non ricuocendolo o facendolo rinvenire (1) fino a che prenda il primo grado di arroventamento, e da ultimo quando è fortemente temperato riuscendo ancora troppo fragile si preferisce di farlo rinvenire fino al colore delle molle.

Le calamite naturali o artificiali portate al maggior grado d'incondescenza si scalamitano, nè col raffreddarsi tornano calamite.

(1) Si dice che l'acciaro si fa *rinvenire* quando si mitiga la sua tempera esponendolo nuovamente al fuoco: nel riscaldarsi prende prima una serie di tinte che si succedono, poi si arroventa e passa pe' vari gradi di arroventamento che l'occhio esercitato discerne, cominciando dei rosso scuro, e terminando al maggior grado d'incandescenza che dicesi *rosso ciliegia chiaro.* Tolto dal fuoco in quest'ultimo punto la tempera è distrutta ma negli altri gradi antecedenti la tempera rimane più o meno mitigata secondo il momento in cui fu tolto dal fuoco.

Le prime si trovano scemate di forza coercitiva senza poterla più riacquistare, le seconde possono riaverla per nuova tempera.

Questo scalamitarsi delle calamite a temperature molto elevate si va eseguendo per gradi, per cui dopo una elevazione di temperatura minore di quella in cui ogni polarità si perde , si avrà la calamita tanto più debole per quando più alta fu la temperatura sofferta.

Kupffer ha inoltre dimostrato esser mestieri che la calamita stia per un certo tempo esposta ad una data temperatura affinchè possa perdere quella porzione di magnetismo che a siffatta temperatura deve corrispondere. Ma quando si è pervenuto a quella temperatura alla quale ogni polarità magnetica è distrutta, il corpo stando la temperatura la stessa, non solo non ha più polarità ma la sostanza cessa per fino di esser magnetica ossia di essere attirata dalla calamita.

Il calorico che come abbiam veduto ha il potere di scalamitare le calamite o indebolirne l'azione, non si è potuto finora trovarlo dotato della virtù di calamitare. La luce per alcune sperienze di Morichini di Madama di Sommerville e di altri fu creduta capace di calamitare gli aghi di acciaro, ma l'esperienze fatte da Reis e Moser in Germania, da Pouillet in Francia ec. non hanno dato alcun risultamento. Solo l'elettrico ha mostrato una virtù grandissima di calamitare il ferro e l'acciaro, siccome appresso verremo dichiarando.

Le verghe di acciaro, calamitate fosse per l'azione del magnetismo terrestre o per altre cagioni non ancora ben conosciute, sogliono scemar di forza abbandonate a loro medesime, ma si conservano tenendole in esercizio col ferro dolce. Comunemente si mettono due verghe di queste parallele e co' poli di nome contrario di rincontro, e poi si chiude il rettangolo con due verghette di ferro dolce le quali costituiscono le *armature* delle calamite.

Gli aghi in azione sotto l'imperio del magnetismo terrestre non han bisogno di armature.

FIG. 135.



I fasci magnetici si compongono di un numero dispari di verghe di cui la media sporge alquanto in fuori e le altre gradatamente rientrano, si armano con due pezzi di ferro dolce agli estremi.

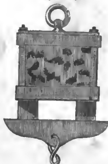
Le calamite artificiali a *ferro di cavallo* (*fig.* 135) hanno per armatura una sola verga di ferro dolce che congiunge i loro poli la quale dicesi *ancora*.

Le calamite naturali finalmente si armano col porre nelle regioni de' poli due lamine di ferro che diconsi *ali* terminate inferiormente in due parallelepiedi detti *piedi* che rappresentano i poli

della calamita a' quali si fa aderire l' ancora (*fig.* 136) cui si sospendono dei pesi.

Sospendendo de'pesi all'ancora gradatamente si giunge a trovare il massimo che possa sostenere e che, come dicemmo, grossolanamente misura la forza della calamita; ma si può dopo qualche tempo accrescere questi pesi un poco per volta fino ad un certo punto. Se però in questo momento l' ancora si distacca, la calamita non sosterrà più che il peso primitivo e bisognerà ricominciare la scala per farle sostenere nuovamente i pesi aggiunti.

FIG. 136.



QUARTA SERIE

ELETTROSTATICA

LEZIONE I.

ATTRAZIONI E REPULSIONI ELETTRICHE.— IPOTESI DI SYMMER E DI FRANKLIN.

Fin da' tempi di Talete conoscevasi che l'ambra gialla strofinata acquista la virtù di attrarre i corpi leggieri; ma questo fatto che dovea essere la occasione per far nascere una delle branche la più estesa della fisica de' nostri tempi rimase per molti secoli infruttuoso perchè trascurato. Alla fine del XVI secolo il medico inglese Gilbert cominciò a ravvisare cotesta virtù in molti altri corpi come vetro, zolfo, diamante, allume ec., e quindi i fisici man mano scoprirono gran numero di fenomeni procedenti da quella medesima cagione che erasi da prima manifestata solo attraendo i corpi leggieri, e tutti cotesti fenomeni furono detti *elettrici* quasi dir si volessero fenomeni dell'ambra la quale in greco dicesi ηλεκτρον: così pure *elettricità o elettricismo fu chiamata* la virtù che i corpi strofinati acquistano di attrarre i corpi leggieri, ed *elettrico, fluido elettrico* e talvolta anche *elettricità* si disse la causa o la efficienza prima di siffatti fenomeni. Ma l'elettrico si mostra ne' corpi non sempre per istrofinlo, siccome appresso vedremo, nè solo con la virtù di attrarre i corpi leggieri, per cui riuscirebbe malagevole anzi impossibile il volerlo nel momento definire, ci faremo dunque a studiarlo ne' suoi fenomeni e nelle sue leggi.

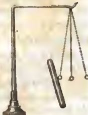
Poichè fu osservato che alcuni corpi strofinati attirano a se i corpi leggieri ed altri no, i fisici dissero i primi *idioelettrici*, ed *anelettrici* i secondi. Alla prima serie appartennero l'ambra, il vetro, lo zolfo le resine, i peli, la seta, l'aria secca, il diamante ec.; alla seconda i metalli in primo luogo, indi i corpi umidi ec. Ma dopo che l'inglese Gray ebbe osservato che un cannello di vetro comunicava dopo lo strofinlo la sua virtù di attirare i corpi leg-

gieri al sughero che io chiudeva, e questo ad un filo metallico ancorchè molto lungo infilzato in esso, furono i primi corpi detti *cattivi conduttori* o *coibenti* dell'elettrico ed i secondi furono detti *buoni conduttori* o *deferenti*, e giustamente si conchiuse, quest'ultimi doversi come i primi elettrizzare per attrito, ma appunto perchè buoni conduttori la loro elettricità doversi dissipare comunicandosi a corpi circostanti, in quello che i primi non potendo prontamente dissiparla perchè poco acconci a condurla, dovere per alcun tempo conservarla. Per la qual cosa i corpi buoni conduttori si possono avere elettrizzati sia direttamente per istrofinio sia anche meglio comunicando ad essi l'elettrico svolto ne' corpi coibenti, purchè non abbiano comunicazione co' corpi circostanti ovvero col suolo, il che si ottiene sospendendoli a fili o cordoni cattivi conduttori (lana, seta ec.), o pure appoggiandoli a sostegni della medesima indole come a colonne di vetro. In questo caso i corpi conduttori diconsi *isolati;* ed i corpi coibenti perciò diconsi anche *isolanti*. Noi generalmente svolgeremo l'elettrico ne' corpi coibenti e lo raccoglieremo sopra i conduttori *isolati*. È inutile il dirvi che un conduttore non potrà dirsi mai isolato se stia in aria umida la quale conducendo l'elettrico rende ogni isolamento inefficace, è però che tutte le sperienze di elettrostatica si fanno in tempi secchi.

Un conduttore elettrizzato torna prontamente allo stato naturale se venga messo in comunicazione col suolo, e per questo i fisici dissero la terra essere il serbatoio universale o comune dell'elettricità, ma noi teniamo questa espressione come poco opportuna ad esprimere il fatto o la ragione del medesimo, perocchè un corpo elettrizzato è in una condizione diversa da'circostanti, e però se con essi è in comunicazione avviene di ridursi alla medesima condizione di quelli e però ritorna allo stato naturale. La terra dunque, siccome meglio intenderemo appresso, deve essere considerata piuttosto come un enorme conduttore.

Per osservare il fatto delle attrazioni elettriche sospendete ad un filo di seta (*fig.* 137) una pallina di midollo di sambuco, la quale sarà un piccolo conduttore isolato, e poi avvicinatele un bastone di vetro o di cera lacca strofinata con pannolano, vedrete la pallina correre verso l'anzidetto bastone, ma dopo di averlo toccato si elettrizza anch'essa e soventi volte la vedrete dopo respinta. Se in vece le palline fossero due sospese a sottilissimi fili mettallici raccomandati ad un sostegno isolante, accostando il bastone di vetro p. e. strofinato con pannolano al-

FIG. 137.



l'estremo superiore de' fili si vedranno le palline allontanarsi tra loro ossia i fili divergere. Lo stesso interverrebbe col bastone di ceralacca, per cui ci è lecito conchiudere che due corpi elettrizzati nello stesso modo si respingono. Ma avendo due pendolini come quello della figura 137 uno elettrizzato col vetro e l'altro con la ceralacca, strofinati entrambi col pannolano, osserverete che le due palline da una certa distanza a vicenda si attraggono, e però come tra corpi similmente elettrizzati si ha ripulsione, così si ha attrazione tra due corpi elettrizzati in diversi modi. Pare che questo doppio fenomeno dell'attrazione cioè e della ripulsione elettrica fosse stato la prima volta scoperto da Dufay nel 1733, il quale denominò *vitrea* l'elettricità che si svolge dal vetro strofinato col pannolano e *resinosa* quella che si svolge della ceralacca similmente strofinata. Tutt'i corpi coibenti poi, strofinati, mostrano o l'una o l'altra di tali due elettricità, e basterà elettrizzare un pendolino come quello della figura 137 con una elettricità nota ed accostare ad esso un corpo elettrizzato per vedere se questo possegga elettricità omologa o contraria a quella del pendolino ch'è nota. Appresso vedremo altri modi per conoscere se un corpo possegga elettricità vitrea o resinosa. È mesticri avvertire che quando due corpi si strofinano sempre assumono opposte elettricità, per cui nel caso del vetro col pannolano, il primo prende elettricità vitrea ed il secondo elettricità resinosa, ed in vece questo prende elettricità vitrea quando strofina la cera lacca che prende elettricità resinosa. Laonde ogni corpo può essere atto ad elettrizzarsi dell'una o dell'altra elettricità secondo che varia la natura di quello col quale si strofina.

Le attrazioni e le ripulsioni elettriche accennando a due condizioni diverse ne' corpi indusscro l'inglese *Symmer*, ritenendo la distinzione di Dufay, a supporre in natura due fluidi sottilissimi imponderabili l'uno detto vitreo e l'altro resinoso, ognuno de' quali repelle se stesso ed attrae il suo contrario, per cui generalmente trovansi ne' corpi riuniti, ed in questo caso non si manifestano con alcun fenomeno che ne additi l'esistenza, essi allora compongono un *fluido neutro* ed il corpo dicesi allo *stato naturale*. Elettrizzare un corpo in questa ipotesi vale scomporre il fluido neutro di esso, sottraendo dal medesimo una parte di uno de' due fluidi rimanendo perciò l'altro in eccesso, per cui se il corpo abbia perduto fluido vitreo sarà elettrizzato resinosamente e vitreamente se abbia perduto fluido resinoso. Potrebbe anche un corpo elettrizzarsi solo acquistando uno de' fluidi, o finalmente acquistandone uno e perdendo contemporaneamente il suo contrario. Ma per quale de' tre modi anzidetti effettivamente un corpo si mostri elettrizzato, spesso

è difficile a dire. Così pure un corpo elettrizzatò può tornare allo stato naturale o comunicando a' corpi circostanti l'elettricità che tiene in eccesso, o ricevendone altrettanta dell'opposta o finalmente per tutti e due questi modi insieme.

L'ipotesi di Symmer fu adottata da Coulomb e poscia quasi da tutt'i fisici di Francia.

Beniamino Franklin d'altra banda suppose contenersi in tutt'i corpi della natura una quantità più o meno grande di un fluido sottilissimo imponderabile, estremamente mobile entro i buoni conduttori, il quale dicesi *fluido elettrico*, o semplicemente *elettrico*. Questo fluido che tende all'equilibrio trovasi distribuito ne'corpi secondo la loro natura, e quando essi ne hanno quella dose che loro compete diconsi essere allo *stato naturale*, e *fluido naturale* addimandasi quella quantità che essi aver ne debbono per non appalesare alcun fenomeno elettrico. Ma quando questo equilibrio si rompe in modo che un corpo per una cagione qualunque si trovi possedere una quantità di questo fluido che supera lo stato naturale, allora un tal corpo si dirà elettrizzato *in più, positivamente*, o *per eccesso*. E questa elettricità positiva del Franklin corrisponde alla vitrea del Symmer. Se per contro un corpo perde una parte del suo fluido naturale, allora si dirà elettrizzato *in meno, negativamente*, o *per difetto*. L'elettricità negativa del Franklin corrisponde alla resinosa del Symmer. Siccome una sola efficienza è bastata a dar ragione del caldo e del freddo che sono due stati contrarî, così il Franklin cercò di dare ragione della doppia manifestazione elettrica ricorrendo ad un solo fluido. Questo quando è in eccesso tende a diffondersi sopra i corpi circostanti, e per contro quando un corpo è negativamente elettrizzato tende a rapire a corpi circostanti una porzione di elettrico per ridursi allo stato naturale, ondo questi due conati formano ciocchè appresso diremo *tensioni elettriche*.

In questa ipotesi si dà al fluido elettrico una virtù ripulsiva in certo modo somigliante a quella che si osserva ne' fluidi aerei, ed una tendenza ad avvicinarsi alla materia ponderabile che ne patisca difetto, siccome questa pel principio che ad ogni azione corrisponde una reazione eguale e contraria, deve tendere ad avvicinarsi all'elettrico di cui è priva. Si suppone finalmente una ripulsione tra le parti della materia ponderabile prive di elettricità. Quel vedere la materia ponderabile manifestarsi in questa ipotesi come forza, ha dovuto fare inarcare le ciglia a tutt'i fisici devoti alla scuola meccanica pe'quali la materia non è che una pura passività, vale a dire qualche cosa di meno della materia prima di Aristotile o dell'ile platonica, senza pensare che se l'elettrico è materia ed è forza ad un tempo, nessuna ripugnanza deve trovarsi nel formarci

un simile concetto della materia ponderabile. Noi dunque troviamo la ipotesi del Franklin più semplice, più logica e più convincente di quella del Symmer, e quindi non ci fa meraviglia se tosto venne accolta da Epino da Cavendish, e da'nostri sommi elettricisti Beccaria, Cavallo, Volta ec. e quindi generalmente nelle scuole d'Italia. Ma io credo potervi a suo luogo dimostrare che se della verità di questa ipotesi si può dubitare, l'altra si può sicuramente tenere per falsa. Ciò non di meno amo che impariate ad interpetrare i fenomeni elettrici col linguaggio di entrambi, affinchè non vi riesca difficile la lettura de' trattati di elettricità, sia quale si voglia la scuola cui i loro autori appartengono.

Un corpo dunque dicesi per Franklin elettrizzato, sia che abbia ricevuto aumento, sia che abbia patito diminuzione di elettricità considerata per rispetto allo stato naturale; nel primo caso lo è positivamente, negativamente nel secondo. E quando un conduttore elettrizzato si pone in comunicazione col suolo si sa come esso debba tornare allo stato naturale senza que'dubbi che di sopra notammo in proposito della ipotesi simmeriana, perocchè se il corpo è positivamente elettrizzato si deve ridurre allo stato naturale cedendo al suolo l'eccesso di elettricità di cui gode, e se per contro sia negativamente elettrizzato tornerà allo stato naturale assorbendo dal suolo ossia da corpi circostanti l'elettrico di cui è privo.

Non son mancati finalmente de'fisici i quali non han creduto necessario il tenere l' elettrico come un essere distinto dalla materia ponderabile, ma come una delle azioni di questa, considerata come forza. Noi certo non possiamo contraddire una tale sentenza, ma solo troviamo che la medesima manca finora di una formola precisa che ci possa valere come di principio chiaro per dar legame logico a' fatti conosciuti ed agevolarci a dedurne altri. Dall' altra parte ci sembra assolutamente necessario far ricorso a due forze in conflitto in tutt'i fenomeni elettrici, e questo bisogno di duplicità dettò i due fluidi nella scuola di Symmer, ed un fluido in azione con la materia ponderabile considerata come forza in quella di Franklin, la quale perciò a noi sembra la più ragionevole, perocchè non sappiamo veramente considerare la materia come una nuda passività. La dottrina di Franklin si accorda bellamente con le nostre tendenze per la scuola dinamica.

Ma è poi assoluta necessità appoggiarci ad una ipotesi? Se volete far la nuda storia de' fatti slegati e sconnessi senza un principio che gli unifichi e li governi, certo che non avrete mestieri d'ipotesi, ma se volete che i fatti siano intrecciati col ragionamento, ossia che divengano i materiali di una scienza, o dovrete avere un fatto sensibile capitalissimo ed universalissimo che solo basti a dar ragione di

tutti, o dovete elevarvi ad una di quelle concezioni sublimi della mente con cui spesso si trova divinando un principio soprassensibile dal quale i fatti sensibili naturalmente discendono. Non sempre si riesce divinando a trovare il vero, ma molte ipotesi, e son quelle de'più stupendi ingegni, furono vere divinazioni come quella della rotazione della terra; e talvolta ancorchè non del tutto vere come fu quella del celebre inventore della pila di cui discorreremo tra poco, partorirono tali scoperte che se colpe si dovesser dire coteste ipotesi, noi non esiteremmo a denominarle colpe felici. Il bisogno della nostra mente di trovare le ragioni prossime de'fenomeni sensibili spinse talvolta i contemplatori della natura ad abusare del diritto di porre delle ipotesi, e noi francamente condanniamo l'abuso, ma teniamo per fermo che le più grandi scoperte, non esclusa quella della gravitazione universale, altro non furono da prima che pure ipotesi nella mente degli scopritori (1).

Abbiamo distinto i corpi in buoni e cattivi conduttori, ma s'intende esservi una certa gradazione da' migliori a' peggiori, onde quelli che occupano i gradi intermedi diconsi *semicoibenti* o *conduttori imperfetti*. I corpi per questa parte presentano delle curiose singolarità. Generalmente la virtù conduttiva per l'elettrico scema col crescere della temperatura, purchè per freddo non avvenga precipitazione di vapori. Ma lo zolfo, la gomma lacca, il iodo allo stato liquido diventano più o meno atti a condurre l'elettrico, mentre allo stato solido erano coibenti. Il ghiaccio alla temperatura 0° è un mediocre conduttore, ed a —25° è tra i migliori coibenti.

(1) Il mio egregio amico Michele Zannotti pubblicò un libro elementare col titolo di *Fisica positiva*, col quale intendeva di escludere dalla scienza tutte le ipotesi, per cui in ottica p. e. dopo di aver discorso de'fatti, come per pura erudizione storica, in un capitolo separato discorreva delle ipotesi sulla luce, trovandosi per tal modo costretto a ritornare sopra i fatti discorsi. A me parve esser questo pensiero del mio egregio amico una esagerazione, e non mancai di combatterlo quando me ne venne offerta l'occasione, siccome egli non mancò di difendersi; ma avendo data alle stampe una seconda edizione della sua opera per molti titoli pregevole, l'ha intitolata semplicemente *Elementi di Fisica*, ed in una nota in proposito della macchina elettrica, citandomi per un lavoro da me fatto, torna sul tema delle ipotesi, e simulando ancora di difendersi sostiene appunto quello che ho sempre preteso da lui: io dunque vedendo il Zannotti co'detti e col fatto esser venuto nella sentenza ragionevole alla quale desiderava di condurlo, mi congratulo sinceramente con lui, e gli lascio ben volentieri la soddisfazione di far credere a chi legge ch'egli abbia sempre a quel modo pensato.

L'aria molto calda diviene conduttrice secondo Priestley. E pare che generalmente parlando i conduttori scemino col riscaldarsi ed i coibenti acquistino la virtù di condurre l'elettrico. Ma un leggiero riscaldamento giova ad accrescere la coibenza ne'corpi cattivi conduttori, perchè espelle da'medesimi l'umidità assorbita o deposta sulle superficie di essi.

LEZIONE II.

ELETTRICITA' INDOTTA, ATTUATA, O PER INFLUSSO.

Dicesi elettricità d'influsso quella che si eccita ne'conduttori per la semplice presenza di un corpo elettrizzato, senza che alcuna elettricità si comunichi da questo a quelli. Supponete che x (*fig.* 138) sia un corpo elettrizzato di elettricità positiva e vr un conduttore isolato allo stato naturale i sotto del quale pendano due coppie di palline di midollo di sambuco messe agli estremi di fili conduttori. Quando il conduttore vr trovasi molto lontano dal corpo elettrizzato x i pendolini sono tutti alla verticale, ma accostando vr ad x i pendolini suddetti cominciano a divergere tanto più per quanto minore diviene la distanza tra questi due corpi, il che dinota che il conduttore vr si è elettrizzato in presenza del corpo x; nè ciò è avvenuto per comunicazione, perocchè il fenomeno si avvera interponendo qualunque coibente tra esso corpo x ed il conduttore vr, e poi il primo niente ha perduto; ma finalmente se il conduttore vr si allontani dal corpo x, ritornerà allo stato naturale, d'onde è venuto che la sua elettricità si chiama *accidentale* e non propria. Se intanto mentre il conduttore vr sta sotto l'influsso voi vi farete ad esplorare la natura dell'elettricità che possiede la troverete negativa in r e positiva in v, e tra queste, in o, una linea neutra. Cotesta esplorazione si fa col *piano di prova* ch'è un piccolo disco metallico con manico coibente: si tocca con esso l'estremo v per esempio ed indi si accosta ad una pallina di midollo di sambuco o simile conduttore sospeso ad un filo di seta che sia elettrizzato di una

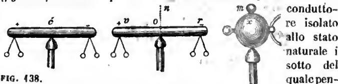


FIG. 138.

elettricità nota, supponiamo positiva o vitrea, si vedrà esservi ripulsione tra il piano di prova ed il pendolino anzidetto il che dimostra che l'estremo v del conduttore isolato tiene elettricità positiva. E con alcune regole che appresso impareremo si conoscerà, questi due oppositi stati elettrici avere la maggiore intensione in ciascun estremo del conduttore ed andare gradatamente scemando verso il mezzo di esso.

Se il corpo x avesse avuta elettricità negativa, si sarebbe trovata elettricità positiva in r e negativa in v.

Il corpo x lo diremo *attuante*, il conduttore vr *attuato* e l'elettricità che in esso si svolge per l'influsso dell'attuante la diremo *attuata* o *indotta*. Terremo dunque per dimostrato, che *un conduttore isolato sottoposto all'influsso di un corpo elettrizzato, ossia messo nella sfera di azione di questo essendo separati da un corpo coibente, assume due opposte elettricità; nella parte anteriore, o più vicina all'attuante elettricità contraria, e nella parte posteriore omologa a quella del medesimo, con una linea neutra verso il mezzo.*

Quando tra l'attuante e l'attuato ci sia l'aria in tempo secco onde questa faccia l'uffizio di coibente, non si debbono questi corpi avvicinare soverchiamente tra loro perchè altrimenti avverrà comunicazione di elettricità mercè il fenomeno della scintilla che si vedrà scoppiare, ed allora il conduttore vr avrà una sola elettricità che sarà omologa a quella del corpo x la quale sussisterà anche dopo di essere questo allontanato; ed in generale il coibente non deve essere troppo sottile relativamente alla tensione dell' attuante.

Della legge di sopra esposta si dà ragione con la ipotesi simmeriana dicendo, che la elettricità del corpo attuante scompone una parte del fluido neutro dell'attuato, chiamando verso di se il fluido contrario e respingendo nella parte opposta l'omologo, e la linea di separazione di questi è appunto la linea neutra. Allontanando l'attuato dall'attuante o questo da quello, o riducendo l'attuante allo stato naturale, o in una parola facendo cessare l'influsso, l'attuato tornar deve allo stato naturale perchè i due fluidi che si erano separati per l'influsso dell'attuante si ricongiungono quando siffatto influsso finisce.

Nella ipotesi di Franklin si dà anche del medesimo fatto felicemente ragione. E per fermo se l'attuante sia elettrizzato positivamente, il suo influsso sull'attuato si ridurrà ad uno spostamento del fluido naturale di questo verso la parte più lontana che si elettrizzerà perciò positivamente, restando negativamente elettrizzata la parte anteriore o più vicina. Che se poi l'attuante fosse stato

negativamente elettrizzato sarebbe avvenuto uno spostamento per verso contrario, pel fluido naturale dell' attuato attratto verso la parte più vicina all'attuante, la quale perciò dovrà mostrarsi positiva,e quindi negativa l'opposta regione. Ed in ogni caso vi deve essere in mezzo una linea in cui non vi sia nè eccesso nè difetto di elettricità, la quale perciò è la linea neutra.

Se appresso al conduttore *vr* se ne trovasse un altro *c* egualmente isolato,allora *vr* farebbe da corpo attuante per rispetto a *c* il quale per conseguenza prenderebbe le due opposte elettricità secondo la medesima legge: dicasi lo stesso per una serie di conduttori i quali prenderanno tutti elettricità negativa da una parte e positiva dall'altra.

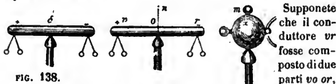


FIG. 138.

Supponete che il conduttore *vr* fosse composto di due parti *vo or*, le quali si possano separare tenendole sempre isolate, è chiaro che separandole mentre dura l'influsso e rimovendole dal corpo attuante dovranno rimanere con le medesime elettricità che avevano sotto l'influsso, non potendosi, secondo il linguaggio de'simmeriani, le due elettricità riunire, o secondo quello di Franklin, non potendosi il fluido spostato diffondere nel conduttore come era allo stato naturale.

Figuratevi ora che il conduttore attuato *vr* si metta in communicazione col suolo, sia con la parte anteriore *r* sia con la parte posteriore *v* sempre si avrà nel conduttore anzidetto una sola elettricità, cioè la contraria a quella dell'attuante, perchè l'omologa come quella ch'è respinta deve andare nel suolo,direbbero i simmeriani, ossia il conduttore *vr* allora insieme con la catena o altro conduttore col quale è messo in comunicazione col suolo ed il suolo istesso formano un sol conduttore del quale *vr* rappresenta la parte anteriore o più vicina al corpo attuante, ed in conseguenza se l'elettricità di questo sia positiva una parte del fluido naturale di *vr* andrà nel suolo e resterà perciò negativamente elettrizzato: il contrario avverrà se l'attuante fosse negativamente elettrizzato. Se cessi l'influsso è chiaro che l'attuato tornerà allo stato naturale, ma quando l'influsso cessasse in un attimo perchè l'attuante prontamente si scaricasse, allora questo ritorna allo stato naturale si avvererebbe con eguale prestezza da generare uno scuotimento nel corpo che dicesi *contraccolpo*.

Fate che nel filo o catena per cui il conduttore *vr* comunica

col suolo siavi una piccola interruzione, accostando il corpo attuante ad una certa distanza la minima possibile da impedire la comunicazione elettrica e da avere un influsso efficace, si vedrà in quella interruzione balenare una scintilla, ed un altra se ne vedrà al cessare dell'influsso; questa doppia scintilla indica il passaggio dell'elettrico dal conduttore al suolo e da questo a quello attraverso dell'aria,per cui avviene che il corpo attuato una volta si elettrizza ed un altra volta torna allo stato naturale. E se fossero molti conduttori l' uno presso l'altro a piccole distanze tra loro si avrebbero scintille in tutti gl'intervalli tanto al cominciare quando al finire dell'influsso. Supponendo che l'ultimo conduttore comunicasse col suolo s'intende che l'elettricità omologa del primo passerebbe al secondo,quella del secondo al terzo e così appresso fino a quella dell'ultimo che passerebbe nel suolo.Supponete questi conduttori molto piccoli e l'effetto non muterà, onde non pare improbabile che lo stesso si avveri anche nella massa de'corpi tra gli atomi o le molecole de'medesimi.

Se finalmente mentre dura l'influsso levate la comunicazione del conduttore attuato col suolo e dopo fate finire l'influsso allora il corpo attuato rimarrà con la elettricità contraria che avea la quale perciò si dice *propria* e non accidentale.

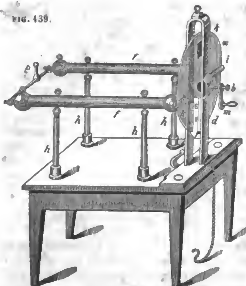
Delle cose dette s'intende che quando un corpo elettrizzato attrae i corpi leggieri questi han dovuto già essere elettrizzati prima per influsso e però l'attrazione ha luogo sempre tra due corpi elettrizzati. Quindi l'attrazione si ha meglio se i corpi leggieri siano buoni conduttori cioè più acconci a subire l'influsso.

LEZIONE III.

DELLA MACCHINA ELETTRICA

Si diè il nome di macchina elettrica ad un congegno apportuno a dare molta elettricità per attrito. Essa è essenzialmente composta di un corpo strofinante di un corpo strofinato e di un conduttore isolato. Fanno da corpo strofinante comunemente quattro cuscini di pelle ripieni di crini e spalmati di amalgama o di oro musivo *(deuto solfuro di stagno)*; da corpo strofinato per lo più un disco di vetro mobile intorno del suo assé mercè un manubrio; e finalmente il conduttore consiste in uno o più cilindri di ottone sostenuti da colonne di vetro e terminati a punte a piccola di-

FIG. 139.



stanza dal disco, lequali soglionsi distribuire in modo da presentare quattro pettini due nella parte anteriore e due nella parte posteriore del disco(*fig*.139)(1).

Volgendo il disco tra'cuscini il conduttore si mostra carico di elettricità positiva o vitrea, la cui tensione comunemente si osserva con l'elettroscopio a quadrante di Henly (*fig*.140) il quale è formato da un'asta verticale di legno con la base di metallo che si fissa sul condottore verso la parte più lontana dal disco: a questa asta è unito un semicerchio graduato di avorio dal cui centro parte una paglia o sottilissima asticella di legno all' estremo della quale sta una pallina di midollo di sambuco. Quando il conduttore si elettrizza, la pallina ed il piè dell'asta ch'è di metallo avendo la stessa elettricità si repellono, ed essendo la pallina con la sua asticella mobile intorno al centro del semicerchio graduato, si avrà un deviamento più o meno forte secondo la tensione elettrica del conduttore.

FIG. 140.



Ciò posto ecco come si dà ragione della elettricità positiva che si osserva sul conduttore, secondo le due ipotesi delle quali si è parlato di sopra.

(1) La macchina dalla figura dinotata è, secondo l'usano i francesi a due conduttori che sono *f* ed *r* congiunti con una traversa *p* sulla quale si pone l'elettrometro a quadrante: *hh* rappresentano le colonne di vetro, *kk* dinota il disco, *b* l'asse ed *m* il manubrio. I quattro cuscini sono fissati al cavalletto di legno *d*.

Lo strofinio, secondo Symmer è uno de'modi di scomporre il fluido neutro de'corpi, onde avviene che quando due corpi si strofinano uno prende elettricità vitrea e l'altro elettricità resinosa; nel caso nostro i cuscini prendono elettricità resinosa ed il disco elettricità vitrea; ma i cuscini essendo in comunicazione col suolo (non essendo il cavalletto che li sostiene isolato) (1), tornano allo stato naturale, e resta il disco carico di elettricità vitrea, il quale operando per influsso sul conduttore isolato scompone il fluido neutro di questo richiamando il resinoso nella parte anteriore ove sono le punte la quale, per una proprietà di queste di cui sarà di breve discorso, non potendo esser trattenuta, se n'esce e va ad unirsi alla vitrea del disco per ricomporre il fluido neutro e ridurre il disco allo stato naturale. Il conduttore dunque che per le punte ha perduto elettricità resinosa restar deve con eccesso di fluido vitreo.

Nella dottrina di Franklin poi lo strofinio è uno de'modi di rompere l'equilibrio elettrico de'corpi che forma lo stato naturale dei medesimi, onde quando due corpi si strofinano insieme uno dà elettricità all'altro, e però necessariamente il primo sarà negativamente elettrizzato, positivamente il secondo. Nel caso nostro i cuscini danno elettricità al disco e quindi essi si elettrizzano negativamente ed il disco positivamente, ma i cuscini essendo in comunicazione col suolo prendono da questo tanta elettricità per quanta ne han data al disco e si rimettono allo stato naturale. Il disco intanto con la sua elettricità positiva opera per influsso sul conduttore isolato rimovendo il fluido naturale di questo dalle punte che si elettrizzano negativamente, e quindi assorbono la eccedente elettricità del disco portandola sul conduttore, il quale poichè aggiunge alla sua naturale elettricità questa che dal disco gli viene per le punte, sarà positivamente elettrizzato. Dal che vedete che se il conduttore comunicasse col suolo, l'elettrico andrebbe dal conduttore al suolo, dal suolo a cuscini, da cuscini al disco dal disco, al conduttore, con una maniera di circolazione continua. Isolando la macchina e facendo che due catenelle metalliche facciano comunicare da una parte i cuscini e dall'altra il conduttore col suolo, e restando in ciascuna di queste catenelle una piccola interruzione, col girare del disco si vedranno frequenti scintille balenare tra le interruzioni, ciocchè proverebbe appunto la circolazione anzidetta, ma del medesimo fatto i simmeriani non mancano di dar ragione. Il certo è che la macchina elettrica, come l'Anteo della favola, deve

(1) Che se il cavalletto fosse isolato i cuscini si farebbero comunicare col suolo mercè una catenella metallica.

comunicare col suolo per parte de'cuscini affinchè il conduttore acquisti molta tensione.

La macchina elettrica che abbiamo descritta è acconcia solo a dare elettricità positiva, ma è chiaro cho se il conduttore si mettesse in relazione co'cuscini essendo questi isolati, esso si mostrerebbe elettrizzato negativamente. Facendo dunque la macchina isolata e disponendo il conduttore in modo che possa a piacimento prendere la elettricità del disco o de'cuscini, si fanno delle macchine che danno l'una o l'altra elettricità. Quando si vuole la positiva i cuscini si mettono in comunicazione col suolo e quando si vuole la negativa il conduttore si fà comunicare co'cuscini ed il disco col suolo mercè i pettini che restano staccati dal conduttore principale. Alle volte la macchina ha due conduttori uno per l'elettricità positiva e l'altro per la negativa.

Invece di un disco se ne adoperano anche due paralleli tra loro ed aventi il medesimo asse. Ciascun disco si muove tra i propri cuscini ed a ciascuno corrispondono le punte assorbenti del conduttore. Una grandiosa macchina di questa maniera che trovasi ad Harlem acquistò tra i fisici una grande rinomanza, ogni disco di questa ha il diametro di oltre a 5 piedi, (1), ma oggi pare che sia stata superata da altre macchine fatte in Inghilterra. Bello è vedere il conduttore di questa macchina scagliare 300 scintille a minuto della lunghezza di oltre a 22 pollici grosse quando un cannone di penna da scrivere e serpeggianti a guisa di piccole folgori.

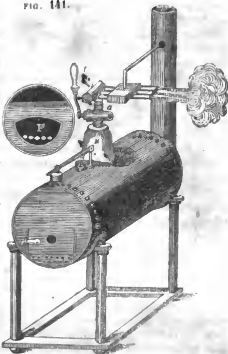
La prima macchina elettrica fu quella di Ottone da Guerike quel desso che inventò la macchina pneumatica, e consisteva in un globo di Zolfo strofinato con la mano, Hauxbee adoperò un globo di vetro, il P. Gordon benedettino sostituì al globo il cilindro. Poi s'introdusse l'uso de'cuscini in vece della mano. Finalmente Ramsden secondo Priestley, o più probabilmente il grigione Martino Planta introdusse le macchine a disco. Troverete facilmente ancora delle macchine a cilindro le quali portano il nome di Ramsden, la cui mercè si hanno le due elettricità, perocchè esse portano due conduttori isolati, uno de'quali tiene addossato un lungo cuscino col quale è strofinato il cilindro di vetro girando intorno del suo asse, ed un altro porta un pettine di punte metalliche.

Sul medesimo principio della elettricità di attrito è venuta in uso da pochi anni un'altra sorgente elettrica in cui il vapore fa da corpo strofinante e questa è detta *macchina idroelettrica di Armstrong*. Essendosi per caso osservato a Newcastle che il vapore che usci-

(1) V. la descrizione datane da Van Marum, Harlem 1785.

va da una valvola di sicurezza di una caldaja a vapore di una macchina fissa dava elettricità, fece nascere il pensiere di fare la macchina idroelettrica. Essa è dinotata dalla *fig*. 141 in cui si vede una caldaia a fornello interno di forma cilindrica(1) sostenuta da quattro colonne di vetro. Nella parte di sopra ci ha una maniera di cappello *H* o ricettacolo di vapore, il quale mercè una chiavetta *a* che si apre e chiude con un manubrio *r* può comunicare con un certo numero di becchi o cannelli metallici orizzontali per dare uscita al vapore. Questi cannelli sono scabri e torti nell'interno e hanno gli estremi di legno. Sono poi circondati di acqua fresca affinchè il vapore esca misto a goccioline aquee. Il rimanente, come la canna fumaria e la valvola di sicurezza si veggono nella figura. Quando il vapore abbia acquistata una sufficiente tensione cioè di quattro in cinque atmosfere, si apre la chiavetta e si fa uscire pe'cannelli orizzontali, tosto la caldaia darà vigorose scintille di elettricità negativa, e se di rincontro a' getti di vapore si ponga un conduttore isolato terminato a punte questo raccoglierà elettricità positiva. De'sali o degli acidi sciolti nell'acqua possono infievolire gli effetti e talvolta generare anche delle inversioni. Per la qual cosa l'acqua migliore è la più pura, e se non si voglia usarla distillata si preferisce quella di pioggia.

FIG. 141.



Da prima fu data a queste sperienze una grande importanza perchè si credette di aver dimostrato finalmente che si abbia svolgimento di elettricità dalla formazione de'vapori, ma bentosto fu

(1) In *F* si vede la sezione della caldaia.

conchiuso, specialmente dopo le sperienze del Faraday, essere questa elettricità dovuta all'attrito del vapore misto a goccioline aquee uscenti con impeto da'cannelli; e però convenire il giro tortuoso di questi, la scabrezza delle interne pareti de'medesimi e tutto ciò che possa rendere maggiore l attrito: quindi nuocere grandemente alla buona riuscita degli effetti l'olio anche in poca quantità introdotto ne'cannelli ec.

La macchina idroelettrica dunque è una sorgente di elettricità di attrito simile alla macchina elettrica, ed è alquanto più incomoda di questa che non ha bisogno di preparativi di acqua e di fuoco, e solo mi è sembrato la prima funzionare meglio della seconda ne'tempi umidi, forse per la temperatura elevata che l'aria acquista intorno alla caldaja.

Vi hò detto che generalmente nella macchina elettrica le punte si dispongono dall' una parte e dall'altra del disco, ma con ripetute prove mi son persuaso dell' assoluta inefficacia di quelle collocate dalla faccia del disco opposta al conduttore. L'esperienza è molto semplice quando i pettini sian fatti in modo che si possano levare e mettere a volontà. L'elettroscopio a quadrante di sopra descrittovi dinoterà la medesima tensione col medesimo numero di giri del disco e con la medesima velocità, tanto con uno quando con due ordini di punte. La linea delle punte si suole mettere orizzontale, ed il professor Gherardi trovò che giovava disporla verticale, ma in sostanza io ho trovato che quando le punte oltrepassano la zona del disco strofinata da'cuscini si ha sempre perdita, per cui col dare a'pettini una disposizione obbliqua in modo che le punte si trovino tutte nell'interno della zona anzidetta si ha il massimo effetto.

Accostando al conduttore la giuntura di un dito o un altro conduttore ottuso in comunicazione col suolo si vedono balenare le scintille elettriche attraverso dell'aria, e quando queste si scagliano da una maggiore distanza il conduttore si reputa più carico ovvero dotato di tensione elettrica maggiore: i congegni ordinati a misurare la distanza esplosiva della scintilla hanno il nome di *spinterometri*. Ma che cosa è mai la tensione elettrica? Noi abbiam dato il nome di tensione alla forza espansiva de'fluidi aerei, ora i fisici han voluto col medesimo nome appellare quello sforzo che fa l'elettrico per passare da un conduttore all'altro o quella specie di forza espansiva che il medesimo par che goda, per cui, come vedremo, si riduce alla superficie de'conduttori ed a poco a poco quasi trapelando per l'aria e pe'sostegni fa che i conduttori già elettrizzati ritornino allo stato naturale, onde il Volta la definì, *la tendenza chè hanno i corpi elettrizzati a disfarsi della propria elet-*

tricità, e a comunicarla o all'aria circostante o a' corpi vicini (1). Per la qual cosa la tensione si reputa maggiore se più grande sia la divergenza di due pendolini, o se più grande sia la distanza esplosiva della scintilla. Ora siccome si può avere poca quantità di fluido aeriforme con molta tensione se sia compresso in piccolo recipiente, e molta quantità del medesimo con poca tensione se sia diffuso in uno spazio grandissimo, così si può avere poca *quantità* di elettrico con molta tensione, e per contro molta quantità con piccola tensione: in quest'ultimo caso la scintilla sarà grande di volume ma si scaglierà a piccola distanza. Laonde con conduttori a superficie uguali e simili le quantità saranno come le tensioni. Ed essendo la quantità la stessa la tensione cresce scemando la superficie. Quest'ultima verità si dimostra per esperienza in diversi modi: s'abbiano per esempio dei conduttori a canne cilindriche le quali entrino l'una nell'altra a guisa di quelle de'cannocchiali. Si carichi questo conduttore e con un elettroscopio se ne misuri la tensione, indi mercè un manico isolante si allunghi e si vedrà la tensione diminuire.

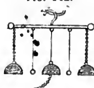
Quindi quando un conduttore isolato dotato di una tensione elettrica qualunque tocchi un altro conduttore anche isolato di superficie uguale alla sua, la tensione diviene metà ed i due conduttori avranno generalmente dopo essersi toccati quantità eguali. Ma se il secondo conduttore avrà una superficie maggiore prenderà una quantità tanto più grande per quanto più grande è la sua superficie per rispetto a quella del primo, e la tensione diverrà in entrambi minore in ragione che la superficie del secondo conduttore sia più ampia, per cui se il secondo fosse di superficie infinita per rispetto al primo la tensione dopo il toccamento diverrebbe infinitesima. Ecco ciò che forma la *capacità relativa* de' conduttori per l'elettrico. Ciocchè per altro abbiam detto nella ipotesi di due conduttori viene modificato in parte dalla diversa lor configurazione la quale dal canto suo concorre a far variare la capacità dei conduttori, onde il Volta trovava una lamina avere minore capacità di un cilindro della medesima superficie, e la capacità di due cilindri eguali essere diversa se i cilindri abbiano diversa lunghezza, crescendo ne'più lunghi e scemando ne'più corti. Anche a superficie eguali e figure simili varia secondo la disposizione de' conduttori: così se si trattasse di tre sfere messe l'una presso l'altra, la capacità della media si trova stare a quella di ciascuna delle estreme come 1 a 1,34. Ma noi non possiamo entrare in minute considera-

(1) V. Belli corso elementare di fisica t. III. e Volta collezione di opere t. I.

zioni sul proposito, e daremo ragione di queste apparenti anomalie quando discorreremo della distribuzione dell'elettricità sopra i conduttori. Basta per ora che voi notiate che un conduttore elettrizzato può comunicare ad un altro una certa quantità di elettrico che varia secondo la carica del primo e secondo la capacità relativa del secondo.

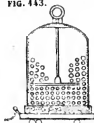
Dal principio delle attrazioni e repulsioni elettriche dipendono alcune, non saprei se esperienze o trastulli di fisica ricreativa. Tale è per esempio lo *scampanio*. Ad un' asta di ottone (*fig.* 142) sono sospesi tre campanelli de'quali il primo e l'ultimo a fili metallici ed il medio ad un filo di seta, questo poi comunica col suolo mercè una catenella metallica. Fra il primo ed il medio e tra questo e l'ultimo campanello sono due pendolini fatti con due palline metalliche sospese a fili di seta. È chiaro che quando l'asta di ottone è messa in comunicazione col conduttore della macchina elettrica in azione, i due campanelli estremi si elettrizzeranno della stessa elettricità ed attireranno i pendolini i quali battendo contro siffatti campanelli si elettrizzeranno della medesima elettricità e tosto verranno respinti verso il campanello di mezzo il quale a sua posta gli attrae perchè per influsso trovasi elettrizzato di opposta elettricità; i pendolini dunque battono contro del campanello di mezzo e si scaricano nel suolo della elettricità che aveano per essere nuovamente attratti da campanelli laterali, per cui si ha un tintinnio continuato.

FIG. 142.



Sul medesimo principio è fondata la *dansa elettrica*. Sopra un piano deferente in comunicazione col suolo si collocano de' piccoli fantocci leggieri di midollo di sambuco e di sopra, ad una certa distanza, si dispone una lamina metallica parallela al sottoposto piano la quale comunichi col conduttore della macchina, è chiaro che i fantocci dovranno saltellare tra questi due piani quando il conduttore della macchina si mantenga elettrizzato.

FIG. 143.



Se in vece di fantocci si abbiano molti globetti di midollo di sambuco questi si vedranno rapidamente salire e scendere tra i due conduttori con grandissima rapidità (*fig.* 143). Questa esperienza è detta *della grandine* perchè siccome si dirà nella meteorologia e una imitazione di ciocchè avviene tra le nubi nella formazione della grandine grossa secondo Alessandro Volta.

LEZIONE IV.

ELETTRICITA' DISSIMULATA.

Le due più importanti teoriche dell' elettrostatica sono quelle della elettricità d'influsso e dell'elettricità dissimulata;avendo brevemente esposta la prima facciamoci ad esporre la seconda. Ricorreremo per questa alla esperienza de' *dischi o piatti conjugati* del Volta i quali ci daranno anche la apportunità di rivedere i fenomeni della elettricità d'influsso da cui veramente la elettricità dissimulata dipende.

Figuratevi dunque due dischi metallici eguali *A* e *B*(*fig.*144) isolati, ciascun de'quali porti nella faccia posteriore un elettrometro a quadrante. Il disco *A* che diremo *attuante* supponetelo messo in comunicazione con una sorgente di elettricità positiva come per esempio col conduttore di una macchina comune,è chiaro che questo disco si caricherà di elettricità positiva secondo la rispettiva capacità sua senza potere andare più oltre. Supponiamo che il suo elettrometro segni 30° di tensione. Allora preso il disco *B* allo stato naturale si avvicini a poco a poco all'altro *A* in modo che le facce senza elettrometri siano di rincontro e parallele, si vedrà il pendolino dell'elettrometro del disco *B* che chiameremo *attuato*, man mano elevarsi e tanto più per quanto minore diviene la distanza tra loro,e quando questa distanza sia diventata la minima possibile da non permettere che baleni la scintilla tra'due anzidetti dischi,l'elettrometro del disco attuato si vedrà segnare quasi la stessa tensione di quello dell' attuante. Ma questa elettricità del disco attuato sparirà in un attimo se si scarichi il disco attuante, e scemerà gradatamente col rendere maggiore la distanza tra loro fino a diventare nulla ad una determinata distanza ; per cui si vede chiaro l'elettricità di *B* essere accidentale ed effetto d'influsso. Ed in vero saggiata col piano di prova si trova essere nella parte anteriore contraria a quella dell'attuante e nella faccia posteriore ove sta l'elettrometro essere omologa. Finora dunque è avvenuto quello che potevamo già prevedere per le cose dette nella Lezione 2.ª Or se mentre i due dischi sono così di rincontro con le tensioni indicate, voi porrete per un momento l'attuato in comunicazione col suolo,accostandogli per esempio il dorso di un dito, tosto si vedrà balenare una scintilla ed i pendolini di en-

FIG. 144.



trambi gli elettroscopi si vedranno cadere a zero, quasi i due dischi fossero entrambi tornati allo stato naturale. Ma se stando così le cose allontanate i due dischi l'uno dall'altro vedrete l'attuante riprendere la sua antica tensione, salvo le perdite per l'aria e pei sostegni, e l'attuato mostrare quasi altrettanta di elettricità propria contraria a quella dell'attuante. Questo infatti intervenire dovea per le leggi dell'elettricità d'influsso di sopra esposte. Ciocchè ci si è offerto di nuovo dunque in questa esperienza è stato quel cadere de' pendolini di entrambi gli elettrometri col porre il disco attuante in comunicazione col suolo, ossia quell'improviso sparire delle tensioni. Si potea da prima il disco *A* con tensione positiva avvicinare all'altro *B* con altrettanta tensione negativa acquistata con una di quelle macchine che danno le due elettricità, ed allora sarèbbonsi vedute scemare le due tensioni avvicinando i due dischi fino a rendersi quasi nulle alla minima distanza. Fra i due dischi si può interporre invece della falda d'aria una lamina di vetro o qualunque altro corpo coibente, e la perdita delle tensioni potrassi avere anche più compiuta potendo con altri coibenti rendere più piccola la distanza tra i due dischi per ragioni che tra poco impareremo a conoscere. Possiamo dunque conchiudere, che *quando due lamine deferenti abbiano eguali ed opposte elettricità e siano tramezzate da una lamina coibente, occultano le loro tensioni in ragione che più si avvicinano e secondo la varia natura del coibente interposto*. Queste elettricità che non appalesano le loro tensioni diconsi *dissimulate*. La dissimulazione poi pare che derivi da un reciproco influsso, perocchè ciascuno de' dischi quando ha elettricità propria fa da attuante e da attuato.

Ora rifacendoci da capo supponghiamo che il disco *A* abbia dissimulati i suoi 30° di tensione dopo che l'altro *B* è stato messo in comunicazione col suolo, è chiaro potere il medesimo disco *A* ricevere dal conduttore della macchina elettrica una nuova carica fino a mostrare nuovi 30° di tensione, ma allora si vedrà l'elettrometro di *B* accennare anch'esso a nuova tensione per effetto di nuovo influsso, e quindi se questo disco *B* si faccia nuovamente comunicare col suolo, nuovamente i pendolini si abbasseranno per una seconda dissimulazione, e così si può continuare fino ad un certo limite secondo la varietà de' casi, perocchè quando la distanza che separa i due dischi o meglio la falda coibente è molto sottile la dissimulazione è più compiuta, ma dopo un certo numero di cariche e di dissimulazioni l'elettrico vince l'ostacolo della falda coibente interposta ed avviene la scarica spontanea. Se poi la lamina coibente sia più grossa da presentare maggiore ostacolo, allora la dissimulazione essendo parziale si hanno de' residui di elettrici-

tà libera o di tensione i quali sommati volgono quanto la tensione che il disco *A* avrebbe potuto ricevere dalla sorgente, e si ha così un altro limite della carica. Se dopo che avete dissimulate molte cariche separerete i due dischi apparirà in ciascuno una tensione eguale alla somma di tutte quelle che furono dissimulate e questa la diremo con vocabolo usato da'nostri maggiori *elettricità vindice*, sebbene essi l'adoprassero in un senso poco diverso o più particolare, siccome tra poco si dirà. Dalle cose dette apparisce come mercè la dissimulazione si può grandemente accrescere la capacità de'conduttori.

L'elettricità vindice si vede sufficientemente bene in tempi molto secchi trovandosi l'aria tra i due dischi, ma se essi vengono a toccare le superficie di un coibente solido come una lamina di vetro, la dissimulazione si può avere anche più perfetta, non così però l'elettricità vindice, perocchè col rimuovere i dischi spesso restano elettrizzate la superficie del vetro e quelli partono quasi allo stato naturale; allora conviene coprire ciascun disco di una lamina coibente nelle facce che si riguardono, affinchè allontanandosi portino seco loro le respettive elettricità.

Mentre i due dischi sono alla minima distanza l'uno carico di elettricità positiva e l'altro di elettricità negativa dissimulate, mettendone uno in comunicazione col suolo, si scaricherà della elettricità libera se ne ha e di un poco ancora di quella che era dissimulata, per cui il pendolino del suo elettrometro si abbassa e quello dell'altro s'innalza un poco dinotando che si trova in eccesso: si metta allora questo disco in comunicazione col suolo e si vedrà rimanere in eccesso il primo, fino a che dopo replicati alternativi toccamenti tornino allo stato naturale. Più facilmente si scaricheranno se entrambi contemporaneamente si mettano in comunicazione col suolo. Ma se si apra una comunicazione tra loro mercè un arco metallico anche prontamente si scaricheranno mostrandovi una grossa scintilla, e se siffatta comunicazione la ponete mercè le vostre braccia proverete la scossa di cui tra poco più largamente discorreremo.

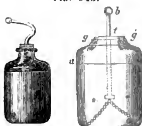
Il quadro di Franklin. Ponete due foglie di stagno incollate sopra le due opposte facce di una lastra di vetro non molto grossa la quale sia alquanto più larga delle foglie metalliche, ed avrete fatto il quadro di Franklin, nel quale le foglie metalliche si chiamano *armature*. Se una di queste armature si faccia comunicare col conduttore della macchina elettrica e la opposta col suolo è chiaro che potrete accumulare molta elettricità positiva sulla prima e quasi altrettanta negativa sulla seconda mercè la dissimulazione. Scaricherete il quadro di Franklin ne' modi indicati pe' di-

schi conjugati del Volta ed avrete i medesimi effetti, anzi se tra i dischi porrete una lastra di vetro invece di una falda d'aria essi rappresenteranno perfettamente il quadro anzidetto. Il vetro o qualche altro coibente solido interposto tra due lamine deferenti permette di accostare le lamine anzidette ad una distanza minore di quella che si potrebbe avere con l'aria, e però avendosi una dissimulazione più compiuta si può dissimulare e quindi condensare maggiore copia di elettricità, ma non si può sempre avere, siccome di sopra fu detto, la elettricità vindice col separare le armature, giacchè queste rimovendosi andrebbero allo stato naturale e le opposte elettricità rimarrebbero sul coibente.

Due lamine deferenti tramezzate da lamina coibente formano ciocchè i fisici dicono un *coibente armato* o un condensatore, quantunque quest'ultima voce serbasi più spesso a dinotare quegli strumenti ne'quali oltre la dissimulazione puossi osservare la elettricità vindice. Il quadro di Franklin dunque va nel genere di questi; e poichè la forma del coibente e delle armature può variare senza che per questo varî l'essenza dell'apparecchio così non durerete fatica ad intendere la natura e l'uso del coibente armato che più spesso s'incontra, il quale è la boccia di Leida.

La boccia di Leida (*fig.*145) è un vaso di vetro rivestito esternamente da una foglia di stagno che dicesi *armatura esterna* ed internamente da un altro simile rivestimento metallico che dicesi *armatura interna*. Queste armature restano per circa tre pollici di sotto dell'orlo siccome viene nella figura indicato dalla linea *aa*. Nell'orifizio sta un turacciolo di sughero *gg* attraverso del quale passa un' asticella o grosso filo di ottone *t* che comunica con l'armatura interna e termina di fuori a bottone. Il collo della boccia non rivestito dalle armature suole coprirsi di vernice coibente o di ceralacca.

FIG. 145.



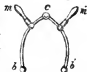
Per caricare la boccia prendetela con la mano per l'armatura esterna ed accostate il suo bottone *b* al conduttore della macchina elettrica, vedrete balenare l'una dopo l'altra parecchie scintille le quali a poco a poco si faranno meno vigorose e frequenti, fino a sparire affatto tenendo il bottone alla medesima distanza. Voi potete facilmente interpetrare quel che è avvenuto. L'armatura interna si è da prima caricata ad equilibrio di tensione col conduttore secondo la respettiva capacità sua, ma questa elettricità operando per influsso attraverso del vetro sull'armatura esterna ha attuata

la faccia esteriore di questa ad elettricità omologa, e quella che tocca il vetro ad elettricità contraria, e poichè l'armatura esterna per mezzo del corpo comunicava col suolo, sarà restata in questa soltanto la contraria e quindi si è avuta dissimulazione: per tal modo l'armatura interna ha ricevuta nuova elettricità dal conduttore della macchina e questa nuova elettricità ha promosso nuovo influsso, e quindi si è avuta nuova dissimulazione ec., fino a che l'armatura interna, oltre alla elettricità dissimulata, si è trovata possedere una tensione da fare equilibrio a quella del conduttore della macchina. Ma se le pareti della boccia fossero molto sottili potrebbe avvenire la rottura del vetro in qualche punto.

Se dunque isolate la boccia, ossia non fate comunicare l'armatura esterna col suolo, essa non si caricherà propriamente parlando, perocchè senza la dissimulazione non si può accrescere la capacità. E però in tempo secco vedrete balenare poche scintille tra il conduttore ed il bottone, ma se stando così le cose accostate all'armatura esterna la giuntura di un dito o un conduttore qualunque, tosto vedrete balenare una grossa scintilla dall'armatura esterna, ed in pari tempo altre ne scoccheranno tra il conduttore e l'armatura interna. Onde se accostate all'armatura esterna di questa boccia il bottone di un'altra che sia pure isolata, ed all'armatura esterna di questa il bottone di una terza e così appresso, facendo comunicare l'armatura esterna dell'ultima col suolo, mentre con la elettricità del conduttore caricate la prima le altre si caricheranno con le elettricità indotte, il che dicesi caricare una *batteria a cascata*. Di tutte queste bocce la prima sarà sempre più carica della seconda, questa più della terza ec.

Volendo scaricare la boccia in una volta bisogna aprire una comunicazione tra l'armatura interna e l'esterna, il che se si fa con un arco metallico articolato in c che dicesi *eccitatore*, spesso munito di manichi isolanti *mm'* (*fig.* 146): si vedrà allora balenare con strepito una grossa scintilla, tenendo uno degli estremi *b* p. e. dell' eccitatore in contatto dell'armatura esterna ed accostando l'altro *b'* al bottone. Se poi siffatta comunicazione si ponga col nostro corpo, tenendo p. e. la boccia con una mano per la pancia e toccandone il bottone con l'altra, si proverà una commozione molesta che dicesi *scossa*, la quale s'è debole si avverte solo alle giunture delle dita, ed in ragione che la carica è più intensa, la scossa si fa sentire a'polsi, a'gomiti, alle spalle, al petto, ma in quest'ultimo caso può riuscire di nocumento. Spesso si suol far prendere la scossa a molte persone in una volta le quali si tengano per le mani, o for-

FIG. 146



mino catena come dicesi, la prima allora tiene la boccia e l'ultima ne tocca il bottone. Non tutti l'avvertono della stessa intensità, perocchè riesce più forte per coloro che sono più vicini alla boccia e va gradatamente scemando verso il mezzo della catena, e ciò perchè, secondo alcuni pensano, una parte dell'elettrico va dissipandosi nel suolo.

Spesso se il suolo non sia molto secco o coibente, la scossa si prova ancorchè due persone della catena non si tengano per la mano.

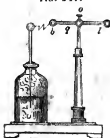
Se ponete la boccia molto carica sopra una tavola alquanto deferente che stia sopra un suolo della stessa indole, basterà toccare il bottone di essa con un dito per scaricare la boccia e provare la scossa nel senso verticale, che si avverte specialmente a' piedi. Ma se voi o la boccia siate isolati la cosa non procederà così.

La boccia di Leida finalmente si può lentamente scaricare per successivi toccamenti, siccome si disse pe' dischi conjugati.

Quando la boccia si è scaricata ponendo in comunicazione le sue armature, se voi aprite tra esse nuova comunicazione avrete una nuova scarica più piccola la quale si ripeterà per parecchie volte successivamente, facendo passare un certo tempo tra l'una e l'altra di tali scariche dette *residuali*. Le medesime sono sempre decrescenti. Il che prova che le molecole del vetro partecipano agli stati elettrici delle armature e con la prima scarica non si riducono allo stato naturale se non quelle delle superficie per cui queste si ricaricano a spese della elettricità delle molecole sottoposte e così appresso fino a che veramente tutte ritornino allo stato naturale (1).

Anche qui l'elettricità rimane aderente alla superficie del vetro nel caso che si rimuovano le armature, il che dimostrasi facendo la boccia ad armature mobili.

FIG. 147.



La scintilla nella scarica della boccia non ha molta distanza esplosiva, ma molto volume, perocchè si tratta di molta quantità e non di molta tensione. Questa distanza può misurarsi con apposito spinterometro (*fig.* 147).

La boccia di Leida ebbe questo nome dal luogo ove fu inventata. Erasi da Cuneo elettrizzata l'acqua in un vase di vetro, nel porvi entro un dito di una mano mentre con l'altra si teneva il vase, si provò la scossa. L'ac-

(1) Beccaria distingue due specie di residui uno *sensibile* o *prontissimo* il quale si manifesta come termina la scarica e l'altro *latente* o *renitente*

qua faceva l'uffizio di armatura interna e la mano o un poco di umido rappresentavano l'armatura esterna. Quando l'acqua fa le veci di armatura interna se con un sifone la togliete esce allo stato naturale, e la boccia intanto rimane carica.

Quando si vogliono effetti più considerevoli invece della boccia si fa uso della *batteria* la quale è formata (*fig.* **148**) da un certo numero di bocce le cui armature esterne comunicano tra loro perchè messe sopra un medesimo piano deferente, e le armature interne si fanno anche comunicare tra loro mercè apposite asticelle metalliche. La batteria si carica e si scarica come fosse una sola boccia, ma la scossa sarebbe pericolosa.

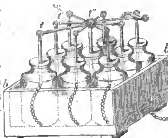


FIG. 148.

Per giudicare della carica si può fare uso di un elettrometro a quadrante annesso alle armature interne, ricordandovi che pochi gradi di tensione annunziano in questo caso una carica sufficiente, giacchè tutta l'elettricità che si dissimula non mostra tensione.

La quantità di elettricità che si accumula e si condensa in una boccia di Leida o in una batteria dipende per una data sorgente dall'ampiezza totale delle armature e dalla minore grossezza delle pareti che permette una più grande dissimulazione, supponendo che le bocce sian sempre di vetro, perocchè la diversa natura dei coibenti concorre siccome dicemmo a far variare l'efficacia dell'influsso (1).

che non si appalesa se non dopo un certo tempo da che la boccia è stata scaricata. Il primo secondo il Belli proviene dal non essersi interamente scaricata la boccia per essersi adoperati conduttori imperfetti. V. Beccaria *Elettricismo Artificiale*, e Belli *Corso elementare di fisica sperimentale*.

(1) Le sperienze di Harris, di Belli, di Farday han provato ad evidenza la varia *capacità induttiva specifica* de' diversi coibenti, per cui lamine della stessa grossezza e di materie diverse interposte tra l'attuante e l'attuato generano influsso diverso. Supponete di avere tre dischi metallici eguali isolati, paralleli tra loro equidistanti e mobili da potersi accostare ed allontanare; siano finalmente collocati in modo che i loro centri stiano per diritto. Diciamo A il disco di mezzo e B e C i due laterali; tenendo questi ultimi in comunicazione tra loro e col suolo si comunichi ad A elettricità positiva p. e., indi levata la comunicazione scambievole e col suolo a dischi *B* e *C*, se questi comunicano ciascuno con un elettroscopio, non daranno alcuno indizio di tensione elettrica, perocchè essi aver debbono, per

E da notarê finalmente che nel parlare de' coibenti armati non che de' dischi del Volta non abbiamo tenuto conto delle scariche parziali che si avverano attraverso dell'aria e de' sostegni, specialmente quando le cariche sono alquanto intense, e quì per non allargarmi molto in parole mi contento solo di avvertirvi a por mente a siffatte perdite dalle quali deriva che con piccola sorgente non caricherete mai a sufficienza una batteria troppo grande. Quando avete caricata una boccia, ascoltate un certo cigolio che dinota ch' essa parzialmente si scarica attraverso dell' aria specialmente per l'eccesso di tensione che l'armatura interna ha sulla esterna.

Condensatore. Il condensatore è uno strumento immaginato dal Volta ed ordinato a raccogliere molta elettricità per dissimulazione e poi renderla manifesta. I piatti conjugati de' quali di sopra fu discorso formano un vero condensatoro. I condensatori differiscono da' coibenti armati perchè questi sono ordinati a dare solo la elettricità dissimulata e quelli anche la elettricità vindice. Se dunque supponete due piatti metallici orizzontali uno inferiore coperto nella faccia di sopra da una lamina coibente, e l'altro superiore coperto similmente nella faccia di sotto da una lamina coibente con un manico isolante per alzarlo, intenderete dalle cose dette di so-

le cose dette, elettricità negativa, ma dissimutata. E però se il disco di mezzo *A* si accosti per esempio a *B*, questo manifesterà tensione positiva e *C* da cui *A* si è allontanato negativa. Ciò premesso se mentre i dischi sono equidistanti s'interponga tra *A* e *B* una lamina di gommalacca, tosto B annunzia una tensione positiva come se *A* si fosse avvicinato ad esso, e l'elettroscopio di *C* mostra tensione negativa come se si trovasse ad una distanza da *A* maggiore di quella cui trovasi *B*. Ciò basta a provarvi che la virtù induttiva della gommalacca è maggiore di quella dell'aria. Nello stesso modo si può fare l'esperienza con altri coibenti.

Dalle cose dette dunque si conchiude che le molecole del coibente prendon parte a' fenomeni d'influsso e non rappresentano un ostacolo che passivamente impedisce il passaggio all'elettrico, nè pare che possano siffatte molecole altrimenti comportarsi che partecipando all'influsso, o *polarizzandosi*, come direbbe giustamente il Faraday. E veramente, prendete molte lamine di mica assai sottili soprapposte e premute, e copritele dalle opposte facce con due armature di foglia di stagno come fosse un quadro di Franklin. Caricate questo quadro, e senza scaricarlo toglicte per mezzo di coibenti le due armature, e dopo staccate le lamine, le troverete tutte elettrizzate positivamente da una parte, e negativamente dall'altra con tensioni decrescenti verso il mezzo del sistema. Se le lamine si saggino dopo avere scaricato il quadro, si hanno i medesimi risultamenti ma in grado minimo.

Altre sperienze vengono eziandio in sostegno di questa sentenza le quali tutte se non la mettono al coperto di ogni obbiezione la rendono per lo meno molto probabile.

pra che facendo comunicare il piatto superiore con una debole sorgente di elettricità, questo dovrà accumulare in se molte cariche essendo il piatto inferiore in comunicazione col suolo, e però alzando il piatto di sopra detto *collettore*, l'elettricità ch'erasi in questo accumulata per dissimulazione si manifesterà con un tensione pari alla somma di tutte le tensioni dissimulate, e quindi molto sensibile. Anche l'aria può fare da corpo coibente, e talvolta basta un semicoibente a fare l'uffizio anche del piatto inferiore. In questo caso il condensatore si compone del piatto collettore senza copertura coibente e di una base di marmo di legno o altra somigliante materia.

Quando i piatti metallici sono separati da un coibente, dalle cose dette di sopra si apprende che per esplorare deboli tensioni il coibente deve essere molto sottile, per avere una più compiuta dissimulazione, ma volendo accumulare più forti cariche il coibente anzidetto dovrà essere più grosso altrimenti sarebbe vinto dall'elettricità e si avvererebbe la scarica spontanea, come talvolta interviene alla boccia di Leida.

Elettricità vindice, ed elettroforo perpetuo del Volta. — Noi abbiamo dato il nome di elettricità vindice alle tensioni elettriche che si mostrano col cessare delle dissimulazioni, e per averla abbiamo, generalmente parlando, adoperato due lamine deferenti tramezzate da un'altra coibente come ne' dischi conjugati. Ma la dissimulazione può aversi anche con due soli corpi o entrambi coibenti o uno deferente e l'altro coibente i quali avendo opposte elettricità messi a contatto le dissimulano e col separarli riprendono le perdute tensioni. Ora le tensioni occultate che in siffatte congiunture appariscono formavano propriamente la *elettricità vindice* de'nostri maggiori (1); ma questa a me sembra non differire dall'altra cui abbiamo dato il medesimo nome, se non per differenze puramente accidentali. E veramente strofinate come facea Epino due lastre di vetro tra loro sicchè prendano opposte elettricità, e non ne avrete alcun indizio finchè sono insieme congiunte, ma distaccandole le due tensioni si mostreranno, sparendo e riapparendo quante volte le soprapporrete e le separerete, per un certo tempo. Scaricate un quadro di Franklin ad armature mobili e quando pare che non abbia elettricità separate l'armatura ch'era elettrizzata positivamente ed essa verrà con più o meno forte tensione negativa, che si ripeterà soprapponendola di nuovo sul vetro e poi di nuovo separandola per più volte. L'opposta armatura da-

(1) V. Beccaria *Experimenta atque observationes quibus electricitas vindex late constituitur atque explicatur*, Torino 1769.

rebbe elettricità vindice positiva. Ritenuto come sopra dicemmo che le molecole del coibente siano elettrizzate, non è malagevole ad intendere come esse debbano operare per influsso sulle armature e dar luogo a' fenomeni dell' elettricità vindice. Le sperienze di Symmer con le calze di seta, ingegnosamente variate dal Cigna, non che quelle de'Gesuiti di Pekino, di Wilke di Beccaria e di altri possonsi riscontrare in molti trattati e specialmente nell'opera del Belli. Quantunque il nome di elettricità vindice nascesse da una spiegazione del fatto data dal Beccaria e più non ritenuta dai fisici, pure a me sembra molto acconcia a significare che l'elettrico *rivendica* o ricupera la tensione perduta. Il condensatore a base deferente dà l'elettricità vindice del primo genere, del secondo genere la dà quello a base semicoibente.

Sul principio della elettricità vindice che si può avere da un corpo deferente e da un corpo coibente Alessandro Volta ideò l'*elettroforo perpetuo*. Esso è formato da un piatto metallico *r* ad orlo poco rilevato ossia di piccolissima profondità entro del quale si cola una materia resinosa che rappigliandosi per raffreddamento forma una stiacciata grossa poco più della profondità del piatto (*fig*.149) (1), piana nella faccia superiore e non molto scabra; e di più da uno scudo metallico *P* alquanto più stretto della stiacciata resinosa munito di un manico isolante *m*.

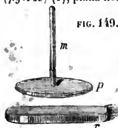


FIG. 149.

Si prende una pelle di gatto, una coda di volpe o anche un pannolano e si batte strisciando sulla stiacciata resinosa finchè questa acquisti una forte tensione, indi preso lo scudo pel suo manico isolante si appoggi sulla stiacciata, si tocchi per un momento indi si alzi, esso vi darà una scintilla di elettricità positiva, la quale si potrà ripetere riponendo il piatto sulla stiacciata ritoccandolo e quindi rialzandolo, e senza elettrizzare nuovamente la stiacciata resinosa potete avere elettricità per molti giorni e talora anche per mesi.

La stiacciata resinosa mentre si elettrizza negativamente opera per influsso sul piatto il quale perchè è in comunicazione col suolo assume elettricità positiva, onde avviene dissimulazione e conden-

(1) La stiacciata resinosa era composta dal Volta di tre parti di trementina, due di ragia ed una di cera bollite insieme per più ore, cui aggiungeva un poco di minio per avvivarne il colore. Adams adoperava due parti di gommalacca ed una di trementina, ed altri hanno fatto uso di altre composizioni.

samento di due opposte elettricità. Lo scudo nel soprapporsi alla stiacciata subisce l'influsso di questa e quindi si eletrizza di elettricità negativa nella faccia superiore e positiva nella faccia opposta, ma messo in comunicazione col suolo o col piatto si scarica della elettricità negativa e resta con la positiva dissimulata, per cui alzando lo scudo questo dovrà mostrare la elettricità vindice. La ragione poi della lunga durata della carica si ha ponendo mente alla forte carica della stiacciata, alla poca o nulla tensione per la dissimulazione, allo scudo che difende la superficie superiore della stiacciata dalle correnti d'aria e da'corpuscoli leggieri in essa notanti ec. Quindi s'intende perchè se il piatto fosse molto profondo e però la stiacciata molto grossa l'elettroforo non darebbe molta elettricità, nè questa durerebbe molto tempo mancando o essendo poca la dissimulazione ed in conseguenza gli accumulamenti di elettricità alle due opposte facce. Si può la sticciata caricare con una sorgente elettrica o con la boccia di Leida, se non si voglia batterla come si è detto. Questo strumento si è usato per accendere l'idrogeno nell'accendilume altrove descritto senza far uso della spugna di platino.

LEZIONE V.

ELETTROSCOPI ED ELETTROMETRI.

Gli elettroscopî sono strumenti che fanno conoscere l'esistenza, e direttamente o indirettamente anche la specie di elettricità che un corpo possiede, e dicono anche il più ed il meno di tensione; ma quando possono dare misure di qualche merito prendono il nome di elettrometri. Noi qui descriveremo i principali strumenti ordinati all'uno o all'altro uffizio riserbandoci di parlare di qualche altro quando ci verrà l'occasione.

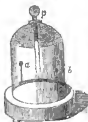
Voi già conoscete il pendolo elettrico ed i pendolini che ci han fatto l'uffizio di elettroscopi. Vi è noto anche l'elettroscopio a quadrante il quale fatto e graduato con certe regole può anche entro certi limiti fare da elettrometro (1). Un ago di metallo bilicato a guisa di un ago magnetico e terminato da due globetti anche di metallo può fare l'uffizio di elettroscopio, perocchè se l'ago non è isolato accostando ad uno de' globetti un corpo elettrizzato quello sarà attratto. Se poi l'ago sia isolato allora, caricato di una elettricità nota, presenterà per un corpo elettrizzato attrazione o ripul-

(1) V. le opere del Volta, del Gerbi, del Belli ec.

sione secondo che l'elettricità sarà contraria o omologa. Questo in sostanza è l'elettroscopio di Hauy.

Gli elettroscopi più generalmente usati e che sono eziandio più sensibili sono quelli di Volta e di Bennet il primo de' quali può anche fare da elettrometro. Supponete una campana di vetro forata di sopra (*fig.* 150) e nel foro introdotto a guisa di turacciolo un cilindro di ottone o *conduttore fisso p* il quale entri nella boccia per circa un pollice, e nella parte inferiore di questo figuratevi sospesi due pendolini o *conduttori mobili* i quali siano due paglie leggiere o steli di alcune graminacee. Dal fondo deferente della campana finalmente sporgono due colonnette metalliche *a* e *b* le quali, mercè una vite o altro congegno, possonsi avvicinare o allontanare tra loro. Volendo vedere se un corpo abbia elettricità basterà avvicinarlo al *conduttore fisso p* dello strumento e vedere se le pagliette divergono, perocchè se il corpo di cui si parla abbia elettricità anche senza toccare il conduttore fisso dell'elettroscopio opererà per influsso attuando i pendolini ossia le pagliuzze ad elettricità omologa ed il conduttore fisso ad elettricità contraria. Se poi il corpo tocchi il conduttore fisso allora i pendolini maggiormente divergeranno, perchè elettrizzati non più di elettricità indotta ma comunicata, e la divergenza sussisterà per qualche tempo. Per conoscere poi quale elettricità possiede il corpo anzidetto si può procedere in diversi modi. Si comunichi per esempio all'elettroscopio una elettricità nota e mentre sussiste la tensione ossia mentre dura la divergenza ne' conduttori mobili si avvicini il corpo la cui elettricità si vuole esplorare; se i pendolini aumentano la loro divergenza è segno manifesto che la elettricità del corpo è della stessa natura di quella che l'elettroscopio possiede; ma se la divergenza delle pagliuzze diminuisse allora non è segno certo di elettricità contraria, perocchè se il corpo fosse allo stato naturale potrebbe generare una diminuzione di divergenza nei pendolini. Ed in vero l'elettricità dell'elettrometro inducendone allora una contraria nel corpo ch'era allo stato naturale avverrà una dissimulazione parziale nella tensione dello strumento, ossia una diminuzione di divergenza. Se però la divergenza sparisse e poi rinascesse è segno sicuro di elettricità contraria. In caso di dubbio si potrà caricare l'elettroscopio di elettricità opposta. Le due laminette che sorgono dal fondo deferente della campana sono ordinate non solo a scaricare prontamente i pendolini i quali in caso di forti tensioni altrimenti batterebbero contro le pareti del

FIG. 150



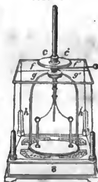
vetro cui resterebbero per qualche tempo aderenti, ma eziandio per dare maggiore sensibilità allo strumento, perocchè i pendolini mentre divergono per mutua ripulsione operando per influsso sulle laminette, le attuano ad elettricità contraria, e quindi sono attratti, presentando così una divergenza maggiore.

Alessandro Volta nel sostituire le pagliuzze a' pendolini di midollo di sambuco che si trovavano negli strumenti immaginati prima da Cavallo e da Sausurre, s'ingegnò di poter convertire l'elettroscopio in elettrometro. Scelse per questo la campana a pareti piane sopra una delle quali pose un arco graduato con gradi di mezza linea l'uno. Isolando bene il sistema de' conduttori, e rivestendo la campana nella parte superiore di ceralacca, e dando a' pendolini la maggiore mobilità possibile, dimostrava con l'esperienza, che le tensioni sono proporzionali alle divergenze de' pendolini (1).

Se in vece delle pagliuzze adoperate due listarelle di foglia d'oro avrete l'elettroscopio di Bennet.

Elettroscopio condensatore del Volta. — Figuratevi un elettroscopio a foglie d'oro (*fig.* 151) il cui conduttore fisso termini in un piattello *f f'* di rame dorato, perfettamente spianato nella faccia superiore la quale sia spalmata di una vernice coibente fatta di gommalacca sciolta nell'acquavite. Sopra questo che diremo piattello inferiore dello strumento nèsia un altro eguale e simile *c c'* spalmato nella faccia di sotto della medesima vernice e provveduto di un manico isolante. La campana *g g'* dell'elettroscopio si chiude in una gabbia *h h'* di lastre di vetro entro la quale si pongono materie atte ad assorbire i vapori aquei per rendere l'aria asciutta.

FIG. 151.



Ciò posto se un corpo non abbia una tensione bastante a muovere sensibilmente le foglie d'oro dell'elettroscopio, allora si tenga per qualche tempo in comunicazione col piattello inferiore o immediatamente o mercè un apposito bracciuolo, ed il piattello superiore si faccia comunicare col suolo ; per le cose innanzi discorse in proposito della elettricità dissimulata s'intende come molta elettricità debba passare dal corpo al piattello inferiore ed altrettanta omologa dal piattello superiore nel suolo, con dissimulazione la più perfetta possibile a cagione della sottigliezza del coibente

(1) Volta, *Collezione di opere* t. t. parte II.

interposto ; onde tolte le comunicazioni del corpo col piattello inferiore, e del superiore col suolo, ed alzando pel manico isolante quest'ultimo piattello, la elettricità vindice del primo sarà annunziata dalla divergenza delle foglie d'oro con una tensione pari alla somma di tutte le parziali tensioni successivamente dissimulate. Con questo strumento dunque si appalesano delle tensioni elettriche invisibili con l'elettroscopio semplice.

I piattelli si son fatti anche di vetro vestiti di una sottilissima lamina di argento.

Bennet fece il *duplicatore* ch'era un condensatore a tre piattelli invece di due, ma Cavallo Pouillet ed altri hanno giudicato questo strumento poco meritevole di confidenza. Se ne può vedere la descrizione e l'uso in molti trattati di fisica (1).

Dopo del Volta essendosi inventati altri elettroscopî si sposò anche ad essi il condensatore, e noi per ora ci contenteremo d'indicare l'elettrometro condensatore di Peltier (*fig.* 152). Esso è formato da una verga di metallo *d* che curvata penetra attraverso della base di legno, dalla quale è isolata, entro la gabbia cilindrica di vetro *a*. Questa verga nella parte esterna porta il condensatore e nella parte interna *b* ha una piccola cavità conica nella quale si appoggia una punta di acciaro che sostiene in bilico un indice o ago consistente in un filo di ottone sottilissimo il quale affinchè non sia pazzo, come dicesi , è unito

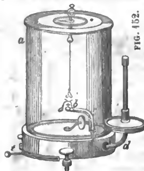


FIG. 152.

(1) V. Peclet, Pouillet, Bequerel ec. Pare che l'antico duplicatore descritto dal Barruel ne' suoi quadri di fisica sia più efficace del condensatore a tre piattelli che si trova descritto nelle opere degli autori di sopra citati. Io distinguerò dunque col Moigno l' elettroscopio condensatore a tre piattelli dal duplicatore propriamente detto. Questo risulta da un elettroscopio condensatore *E* (*fig.* 153) e da un mezzo condensatore *D* vale a dire da un piattello simile ad uno di quelli dell'elettroscopio condensatore sostenuto da un piede isolante. Ecco in che modo viene adoperato. Col corpo la cui elettricità si vuole esplorare si tocca il piattello inferiore dell'elettroscopio condensatore *E* facendo comunicare il superiore *S* col suolo , per tal modo supponendo il corpo elettrizzato positivamente si avrà +1 nel piattello inferiore *I* e −1 nel superiore *S*; questo piattello superiore così elettrizzato si porti sull'altro *I'* facendo in pari tempo comu-

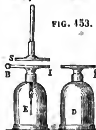


FIG. 153.

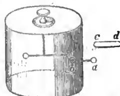
ad un piccolissimo ago di acciaro debolmente calamitato. Disposto lo strumento in modo che l'estremo dell'indice tocchi il conduttore, è chiaro che se questo abbia ricevuto elettricità la comunicherà all'indice il quale dovrà deviare, ed i gradi di deviamento si leggono mercè due cerchi graduati di cartone uno de' quali è messo sulla base dello strumento e l'altro sul coperchio della gabbia per evitare gli errori della parallasse. Lateralmente all'ago aggiunse il Peltier un dischetto metallico che mercè un manubrio esterno *t* si può porre a varie distanze dall'indice per avere deviamenti maggiori, operando insieme l'attrazione tra l'indice ed il dischetto anzidetto con la ripulsione tra l'indice ed il conduttore. Se nel mezzo del coperchio della gabbia cilindrica vi sia un micrometro col filo di argento allora si potrà convertire l'elettrometro in bilancia di torsione.

Questo strumento può valere come elettrometro quando si sappiano tradurre le divisioni del cerchio in gradi proporzionali, giacchè le tensioni non sono proporzionali agli archi di deviamento. Siffatta traduzione si può fare con diversi metodi e specialmente con la bilancia di torsione della quale tra poco indicheremo l'uso come elettrometro.

Peltier ha modificato in altra guisa l'elettrometro ad ago, destinandolo specialmente per le osservazioni di elettricità atmosferica, ed io ho alquanto variato siffatto strumento siccome vi dirò in meteorologia.

Ma il più antico elettrometro ad ago e forse il migliore, se non fosse alquanto torpido, è l'elettrometro di Coulomb dinotato dalla *fig*. 154 il quale è una vera bilancia di torsione. L'ago è di gommalacca con piccolo disco metallico ad un estremo.

FIG. 154.

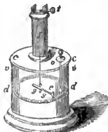


La bilancia di torsione di cui indicammo a forma e l'uso per le misure delle forze magnetiche, può anche essere adoperata

nicare questo col suolo, si avrà con ciò + 4 nel piattello *I'* e — 4 nel piattello *S*. Se ora i due piattelli inferiori si facciano comunicare tra loro con un filo metallico, ed il superiore *S* col suolo, allora è chiaro che *I'* avrà + 2 ed *S* avrà — 2, restando *I* ad una tensione zero. Si porti ora di nuovo *S* sopra *I*, facendo in pari tempo comunicare questo col suolo, si avrà *I* con + 2 ed *S* con — 2, e facendo comunicare *I* con *I'* mercè un conduttore isolato, ed *S* col suolo si avrà *I* con + 4 ed *S* con — 4; e così seguitando si avrebbe da + 4 e — 4, + 8 e — 8 ec. Dalle cose che appresso si diranno relativamente alle azioni chimiche intenderete a quali avvertenze conviene por mente per non incorrere in illusioni.

come elettrometro. Essa suole avere allora la gabbia cilindrica (*fig.* 155) ed all'estremo del filo di argento sta comunemente un ago di gommalaccacon un dischetto di foglia metallica ad un estremo: Peltier vi ha arrecato alcune utili modificazioni per le quali si può fare uso di un ago metallico, e si evitano quelle vibrazioni dell'ago troppo prolungate per le quali conviene aspettare un certo tempo prima di poter leggere le indicazioni dello strumento. Quando l' ago è metallico si sospende all' estremo del filo di argento ad un doppio uncinetto di gommalacca affinchè resti isolato siccome si vede nell'elettrometro di Peltier sopra descritto (*fig.* 154).

FIG. 155.



LEZIONE V.

LEGGI DELLE ATTRAZIONI E REPULSIONI ELETTRICHE. — DISTRIBUZIONE DELL'ELETTRICITA' SOPRA I CONDUTTORI E POTERE DELLE PUNTE.

Due corpi elettrizzati si attraggono o si repellono in ragione diretta de' prodotti delle quantità di elettricità che sono in azione tra loro ed in ragione inversa de' quadrati delle distanze. Questa legge si dimostra con la bilancia di torsione di Coulomb. Si elettrizzi il dischetto dell'ago di una elettricità qualunque e poi s'introduca nella bilancia un altro dischetto o una pallina deferente elettrizzata della stessa elettricità, è chiaro che l'ago della bilancia sarà deviato per la ripulsione scambievole tra i due piccoli conduttori dotati della stessa elettricità: si volti il micrometro per un certo numero di gradi, ossia si faccia torcere il filo fino a che resti un deviamento di 20°, per esempio; indi tirata fuori la pallina pel suo manico isolante la si tocchi con un'altra eguale ed egualmente isolata e poscia s'introduca di nuovo nella bilancia: la pallina ora terrà la metà dell'elettricità che prima possedeva, e si vede che per mantenere lo stesso deviamento nell'ago bisogna ridurre la torsione alla metà di prima: estratta un altra volta la pallina e portata a contatto della sua eguale isolata ed allo stato naturale, sicchè

le resti la quarta parte della elettricità primitiva, si vedrà che rimessa nella bilancia converrà ridurre la torsione alla quarta parte ec.

In virtù di questa legge si può vedere negli elettrometri ad ago qual deviamento corrisponde alla metà alla quarta parte ec. di elettricità per avere come sopra si disse una tavola che rappresenti i gradi proporzionali.

Dopo di aver veduto che alla medesima distanza le ripulsioni sono come i prodotti delle quantità elettriche, non sarà malagevole assicurarsi che con le stesse quantità sono in ragione inversa de' quadrati delle distanze. Nella stessa guisa potrebbe procedersi per le attrazioni (1). Questi risultamenti di Coulomb furono verificati da Egen con un metodo diverso, e da Harris con una bilancia bifiliare nella quale l'ago è sospeso a due fili di bozzolo equidistanti dal centro di gravità, per cui gira intorno ad un asse ideale. I risultamenti ottenuti da quest'ultimo sono alquanto diversi da quelli di Coulomb per distanze molto piccole tra i corpi elettrizzati, ma per distanze alquanto grandi la legge di Coulomb rimane vera (2).

Dalla legge enunciata alcuni fisici deducono a priori che l'elettrico libero in un conduttore isolato debba ridursi alla superficie del conduttore formandovi un falda sottilissima la quale cresce o di densità o di grossezza quando la carica è maggiore, ed in ragione vuoi della densità, vuoi della grossezza di questa falda, la tensione si mostra più grande. E ritengono poi dall'esperienza che siffatta falda che dicono *strato elettrico* resti sempre nella massa del conduttore e non s'interni nell'aria che lo circonda, perche due conduttori eguali e simili uno nudo e l'altro coperto da un invoglio coibente si

(1) Quindi chiamando q e q' le quantità elettriche di due corpi e d la loro distanza, la forza totale con cui si attraggono o si respingono sarà espressa da $\frac{qq'}{d^2}$.

(2) Nel passare da un esperienza all'altra una porzione di elettricità del disco dell'ago e del piccolo conduttore che s'introduce nella bilancia non che del corpo da cui si attigne si dissipa attraverso dell'aria e de'sostegni, così è mestieri tener conto di queste perdite con esperienze antecedenti, perocchè l'aria ancorchè molto asciutta ed i coibenti solidi danno sempre campo all'elettrico di lentamente dissiparsi, e le perdite riescono più grandi con le tensioni più forti. Una colonna di vetro lunga un pollice p. e. isolerà sufficientemente una debole tensione, ma sarà poco acconcia ad isolare una tensione più gagliarda per la quale farà mestieri di colonne più lunghe.

caricano alla stessa sorgente di eguali elettricità. Ma noi lasciando da banda le speculazioni teoriche vediamo come per esperienza si dimostra che l'elettricità si raccoglie alla superficie de' conduttori. Prendete una sfera di metallo vuota la quale abbia un foro e sia isolata, elettrizzatela e vedrete che toccata di fuori col piano di prova o con qualunque piccolo conduttore isolato questo prenderà dell'elettricità che potrete rendere aperta mercè un elettroscopio qualunque, ma se il piano di prova lo introdurrete nella sfera per lo forame appositamente fatto nella medesima, sicchè possa toccarne le interne pareti, tirandolo fuori e badando che nell'uscire non tocchi gli orli del buco, lo troverete allo stato naturale. Questa esperienza il Beccaria la facea con conduttore cilindrico che dicea pozzo elettrico. Se una sfera di metallo isolata si copra con due emisferî cavi sottilissimi di foglia metallica che si possan mettere o togliere mercè due manichi coibenti, si elettrizzi e dopo si tolgano pe' manichi anzidetti gli emisferî, questi porteranno via tutta l'elettricità dal globo, il quale rimarrà allo stato naturale. Se finalmente avete due sfere metalliche eguali ed egualmente isolate, ma una massiccia ed una vuota, elettrizzandone una e poi toccandola con l'altra, la tensione si ridurrà in ciascuna alla metà, il che prova che l'elettrico non si è distribuito secondo le masse che sono dissuguali, ma in ragione delle superficie che sono eguali.

Quando si muove da considerazioni teoriche si conchiude, che l'elettrico portato dalla propria ripulsione alla superficie di un conduttore vi si mantiene per la resistenza che gli oppone l' aria circostante contro la quale esso fa impeto con la sua tensione, ma l'esperienza non pare che rifermi del tutto questa inferenza razionale, perocchè si sa oggi da' fisici che un conduttore può per lungo tempo rimanere elettrizzato nel vuoto comecchè con debole tensione.

Ma se la elettricità si raccoglie o si manifesta solo alla superficie de' conduttori isolati avrà essa in tutt' i punti la stessa tensione? Non potendo esporre la teorica matematica della distribuzione della elettricità sopra i conduttori quale si trova esposta dal Poisson, e dal Belli in apposita scrittura, ci contenteremo di vedere come si possa con l'esperienza risolvere siffatta quistione. La bilancia di torsione ed il piano di prova bastano a siffatte determinazioni. Toccando col piano di prova un punto della superficie del conduttore elettrizzato, si misura la tensione che porta seco mercè la bilancia di torsione; indi si tocca col medesimo piano di prova un altro punto della superficie anzidetta e si misura la corrispondente tensione e così appresso. Per tal modo si conosce che se il conduttore è sferico la tensione è la stessa in tutta la superficie,

che se sia un disco la tensione si mantiene uniforme nel mezzo ma verso gli orli rapidamente cresce, ed in generale cresce nelle parti sporgenti e scema nelle parti cave o rientranti. Di qui segue che quando due sfere si toccano e siano elettrizzate, nel punto di loro toccamento si ha una tensione nulla la quale poi va crescendo man mano per diventare massima a'punti opposti. E se le sfere son tre in modo che la media sia molto piccola per rispetto alle estreme quella si trova allo stato naturale mentre queste sono elettrizzate (1). In un ellissoide di rivoluzione la tensione si trova massima a' poli e minima all'equatore, e sarebbe secondo la teorica proporzionale a' quadrati de' raggi vettori Per la qual cosa le punte potendosi considerare come poli di ellittoidi allungatissimi ne segue che la tensione in esse debba riuscire grandissima ancorchè poca fosse la carica del conduttore di cui fan parte, per cui si dice che questa tensione vincendo l'ostacolo dell'aria, l'elettrico se n'esce e prontamente riduce il conduttore allo stato naturale. Nella teorica delle due elettricità le punte danno sempre uscita all'elettrico, onde un conduttore elettrizzato se abbia punte si ridurrà presto allo stato naturale dissipando per queste la elettricità di cui gode ancorchè isolato, e le punte in un conduttore possono assimilarsi a' fori fatti in un vase il quale non potrà mai mantenersi pieno di un liquido perchè questo pe' fori se n'esce. Ma nella ipotesi di un sol fluido se le punte si trovano con tensione positiva emettono, e se hanno tensione negativa assorbono elettricità.

Tanto nell'una quanto nell'altra ipotesi le punte presentano due fatti perocchè nella prima possono dare scolo o all'elettricità vitrea o alla elettricità resinosa, nella seconda disperdere o assorbire elettricità. Ora nel bujo si hanno due apparenze: nel primo caso sulla punta si vede un cono di luce pallida che dicesi *fiocco* o *pennacchio*, e nel secondo una maniera di scintilla immobile che dicesi *stelletta*. Il fiocco dunque e la stelletta pe' simmeriani dinotano la dispersione della elettricità vitrea e resinosa, e pe'seguaci del Franklin il fiocco dinota elettricità che esce del conduttore cui la punta appartiene, e la stelletta assorbimento di elettricità, per cui quello è indizio di elettricità positiva, e questa di elettricità negativa.

Ciò posto, se sul conduttore della macchina elettrica impiantate una punta bene aguzza vedrete nel bujo il fiocco sulla medesima, il che dinota per entrambi le ipotesi che per essa punta l'elettricità si disperde. Ma se un conduttore in comunicazione col suolo finisce a punta a piccola distanza dal conduttore della macchina, vedrete su

(1) V. il Poillet, il Belli ec.

questa punta la stelletta la quale pe' simmeriani dinota elettricità resinosa che dal suolo si reca sul conduttore della macchina per unirsi alla vitrea di questo, e pe' francliniani dinota l'elettrico che dal conduttore della macchina per la punta va al suolo. L'effetto poi è sempre il ritorno del conduttore allo stato naturale, ma il modo è diverso secondo le due ipotesi.

Per me sono di credere che senza pretendere che la ipotesi di Franklin sia assolutamente vera, possa sostenersi che quella di Symmer sia falsa o almeno poco acconcia a dare ragione de' fatti. E veramente se domandate a' seguitatori della dottrina di Franklin per qual modo un conduttore elettrizzato deve tornare allo stato naturale, essi vi risponderanno senza punto esitare, che se questo conduttore sia positivamente elettrizzato tornerà allo stato naturale comunicando al suolo o a' corpi circostanti l'eccesso di elettricità di cui gode, e se sia negativamente elettrizzato, ricevendo dal suolo o da' corpi circostanti l'elettricità di cui è privo; per cui se voi armerete un conduttore, elettrizzato positivamente, di punta, vedrete sopra di questa il fiocco, e se ad esso rivolgerete una punta avrete la stelletta, e l'uno e l'altro fenomeno dinoteranno sempre il passaggio della elettricità dal conduttore al suolo; ma non così agevole riesce il dire nella ipotesi di Symmer come un corpo torna allo stato naturale, perocchè se questo è elettrizzato di elettricità vitrea ed è armato di punte, il fiocco in ciascuna di esse annunzierà che siffatta elettricità eccedente si sperde, e se invece a piccola distanza dal conduttore ci sia una punta, questa con la stelletta dinoterà che il conduttore riceve dal suolo elettricità resinosa, e se finalmente ci siano punte sul conduttore e punte a piccola distanza da esso in comunicazione col suolo, dovranno le due cose avvenire insieme. Or che interverrà quando il conduttore isolato torna da se allo stato naturale, o quando ci torna prontamente perche è messo in comunicazione col suolo? Ponete una punta sul conduttore della macchina elettrica e vedrete, col far rotare il disco, il fiocco sopra questa e le stellette sulle punte vicine al disco, il che direbbe, secondo Symmer, che il conduttore perde contemporaneamente elettricità vitrea e resinosa, cosa veramente strana, mentre nell'altra ipotesi il doppio fenomeno dice la cosa la più logica del mondo, cioè che il conduttore acquista per le punte che mostrano la stelletta e perde per quella che ha il fiocco. Io non la finirei se volessi notarvi tutte le incoerenze alle quali la ipotesi di Symmer conduce, ma non vi sarà malagevole prevederne parecchie muovendo dalle poche che vi ho esposte.

Che che sia di ciò il fatto è che le punte hanno la proprietà di sperdere in silenzio delle cariche elettriche ancorchè fortissime fi-

nanche quelle delle nubi per cui sono state utilmente applicate ne' parafulmini, siccome appresso sarà più ampiamente dichiarato.

Se sopra una punta piantata verticalmente sul conduttore della macchina elettrica ponete in bilico un ago formato da un filo metallico aguzzo a' suoi estremi e piegati orizzontalmente per lo stesso verso, volgendo il disco questo ago prenderà un moto di rotazione molto veloce per verso contrario alla direzione delle punte, ossia per lo verso de' gomiti o delle piegature, appunto come se quel-l'ago fosse un cannello e per le punte uscisse un liquido o un fluido aeriforme, il quale farebbe muovere intorno il cannello per *reazione*, come dicesi, o per rinculamento continuo, siccome interviene alla ruota idraulica a cannelli ripiegati, che i francesi chiamano *tourbine*. Per la qual cosa i fisici generalmente supposero il fenomeno derivare dal medesimo principio, vale a dire dallo sgorgare dell'elettrico per le punte; ma Aimé ha fatto conoscere la fallacia di siffatta spiegazione mostrando tra le altre cose che un ago rivestito di vernice coibente e messo nel vuoto, punto non rota, sicchè l'aria o altro mezzo somigliante è condizione necessaria perchè la rotazione si abbia, e però pare che l'aria che si elettrizza e le punte si respingano e nasca quella continua rotazione di cui è parola.

La macchina elettrica basterebbe a mostrarvi come le punte in un conduttore valgono a modificare i risultamenti dell' influsso quali si hanno con conduttori tondeggianti, ma è giusto che poniate ben mente a siffatta congiuntura per poter dare ragione di non pochi fatti di qualche importanza; perocchè se un conduttore armato di punte sta sotto l'influsso, esso può caricarsi tanto di elettricità omologa quando di elettricità contraria a quella dell' attuante secondo che le punte sono nella parte anteriore o posteriore del conduttore attuato, con la differenza che l'attuante nel primo caso perde la elettricità che l'attuato acquista e però invece d'influsso si ha vera comunicazione elettrica. Un conduttore elettrizzato per contro se abbia punte opererà diffondendo la propria elettricità sopra i corpi circostanti senza ubbidire alle leggi consuete dell'influsso. Laonde se ad una certa distanza da un corpo elettrizzato senza parti acuminate voi ponete un elettroscopio, questo annunzierà elettricità omologa d'influsso, per cui toccandolo tornerà a zero, ed allontanandolo di più indicherà elettricità contraria; ma se il conduttore elettrizzato abbia punte, allora la sua azione sull'elettroscopio non solo si estende ad una distanza molto più grande, ma non si osserva mai nel medesimo l'elettricità contraria come nel caso precedente.

LEZIONE VI.

EFFETTI DELLA ELETTRICITA' SOPRA I CORPI

L'elettricità statica o di tensione che si trova ne'corpi conduttori o coibenti non genera in essi alcun cangiamento sensibile, ma solo operando sopra i corpi circostanti vi eccita per influsso degli stati elettrici da cui risultano i fenomeni delle attrazioni e repulsioni, ma non così quando attraverso di un corpo passa una scarica, ossia quando l'elettricità si trova in condizioni dinamiche, perocchè allora si hanno effetti meccanici, fisici, chimici e fisiologici. Cotesti effetti possonsi per lo più meglio studiare con la elettricità della pila e tutti appartengono propriamente alla elettrodinamica, per cui ci limiteremo a dire qui qualche cosa degli effetti delle scariche delle quali abbiamo innanzi discorso, salvo a trattare in generale degli effetti e delle cagioni della elettricicità.

Abbiam detto che l'elettricità di tensione sopra di un corpo non vi reca effetti sensibili, pure operando sopra un fluido aeriforme parrebbe che dovesse nascere una certa ripulsione tra le molecole, in virtù della quale il fluido dovrebbe espandersi, ma l'esperienza ci mostra cotesta espansione solo nel momento della scarica, siccome tra poco diremo: e la sensazione che si prova sulla palma della mano accostata ad una punta di un conduttore elettrizzato, sensazione che i fisici rassomigliano a quella che la mano proverebbe toccando un ragnatelo e che chiamano talvolta *aura o venticello elettrico*, par che derivi dalla ripulsione tra le molecole dell' aria e la punta, e dallo scaricarsi dell'aria sulla mano.

Ne' liquidi in moto poi l' elettrico sembra a prima giunta che eserciti un certo potere. Prendete infatti un vasellino metallico il quale abbia nel fondo alcuni beccucci o angustissimi cannelli e ponendovi entro acqua, la vedrete lentamente uscire a gocciole, ma se elettrizzate il vase è quindi l' acqua, questa spiccerà fuori a zampilli continui, i quali si convertiranno di nuovo in gocciole gementi con la prisca lentezza tosto che avrete scaricato il vaso della elettricità che avea. Questo fenomeno dal quale un dì si argomentava la virtù dell' elettrico di facilitare la circolazione capillare, par

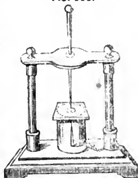
che derivi dallo scemarsi l'adesione tra il liquido e le pareti esterne de' piccoli becchi per cui non si può la gocciola trattenere fino a che s' ingrossi, ed il liquido deve uscire a getto continuo, e però alcuni hanno trovato che la quantità di liquido che esce è sempre la stessa o che scorra gocciolando senza l' azione dell' elettricità o che scorra a zampilli continui elettrizzando il vase.

Partendo forse da questo fatto fu talvolta consigliato agl'infermi per reumi o torpori, il *bagno elettrico*. Sopra una tavola dai piedi di vetro detta *sgabello isolatore* si colloca un uomo il quale stia in comunicazione col conduttore della macchina elettrica, costui si elettrizzerà e presenterà i medesimi fenomeni di ogni altro conduttore isolato. Egli non avverte alcuna impressione e solo sente arruffarsi i capelli; io non ho potuto avvertire aumento nella circolazione.

La maggiore facilità de' liquidi elettrizzati ad evaporare, o la diversa vigoria delle piante nella vegetazione non contano, per quanto mi sappia, esperienze bastanti a tenere per irrepugnabili i fatti alcune volte asseriti, e però lasciando gli effetti dubbî ed incerti della elettricità di tensione sopra i corpi che la contengono ci faremo a dire degli effetti di essa nell' attraversare i corpi.

Effetti meccanici. Con la scarica della boccia di Leida o anche meglio con quello della batteria si può forare una lamina di vetro. L' apparecchio per siffatta esperienza è dinotato dalla *fig*. 156. La lastra si colloca sopra un cilindro di vetro tra due punte metalliche una delle quali si fa comunicare con l'armatura esterna e l'altra con la interna di una batteria. All' estremo della punta di sopra si pone una goccia di olio per avere un contatto più esteso col vetro.

FIG. 156.

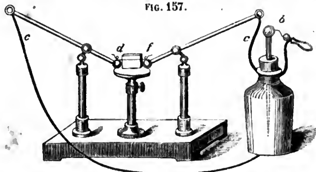


Una carta da gioco messa tra due punte è parimenti perforata dalla scarica, ed il foro si mostra orlato da ambo le parti. Nell'aria il foro si mostra più prossimo alla punta negativa quando queste punte abbiano una giacitura sbieca, ossia non stiano per diritto. Nel vuoto della macchina pneumatica poi il foro si accosta alla punta positiva. Di questo fatto scoperto dal Tremery non si saprebbe dare una probabile ragione.

Effetti fisici e chimici. La scarica elettrica eleva la temperatura de'corpi pe' quali passa e però con essa si accende l'etere, l'acquavite, la polvere da sparo ec. In parecchie congiunture per far passare la scarica attraverso di un corpo si fa uso di un apposito con-

gegno detto *eccitatore universale* rappresentato nella figura 157. I fili metallici non molto lunghi e di piccolo diametro sono riscal-

Fig. 157.



dati, arroventati o fusi secondo la intensità della scarica, e ciò anche nell'acqua. Le sottilissime lamine di stagno sono volatilizzate dalle forti scariche, ed i vapori metallici ossidandosi formano de' fili nuotanti nell'aria simili a quelli de' ragnateli. L'oro che copre i fili di seta si fonde senza che questi si brucino, e ciò sicuramente avviene per la prestezza con la quale la fusione si compie. Se il filo di seta stia sopra una carta bianca, dopo la fusione dell'oro rimane sulla carta una traccia nera. Su questo fatto è fondata l'esperienza della *stampa elettrica* che troverete descritta in molti trattati di fisica, ma che non dimostra più di quello che abbiano indicato.

Le forti scariche elettriche fanno notevoli impressioni sulle superficie de' conduttori metallici lasciandovi uno o più *anelli di fusione*. Questa esperienza fu fatta da Priestley. Ambrogio Fusinieri poi ha osservato che le scariche trasportano una parte della materia da un conduttore sull'altro, cosicchè se molte scintille cadano da un globo d'oro sopra una lamina di argento si vedranno in questa delle macchie auree. Questo fatto per la sua importanza meriterebbe di essere da nuove sperienze rifermato (1).

(1) Dalle sperienze del Fusinieri risulterebbe ancora che l'oro sarebbe trasportato attraverso dell'argento da mostrarsi sulla opposta superficie della lamina di quest'ultimo metallo. Una parte delle macchie o degli anelli di Priestley è probabilmente cagionata da materie trasportate, fuse o ossidate, e pare che in molti casi quelle macchie nere che lascia il fulmine nel suo passaggio abbiano la medesima origine. Se sopra una lamina di vetro si ponga una medaglia e sopra questa si faccia cadere la scintilla elettrica, tolta la medaglia ed alitando sulla lamina si vede comparire sopra di essa la immagine della medaglia; non sarebbe improbabile che anche questo fosse un fenomeno di trasporto, sebbene i fisici ne abbiano date varie e poco sicure ragioni.

Una forte scaricha se passa attraverso dell' acqua, senza mancare di mostrarvi la scintilla, spruzza intorno il liquido con impeto.

FIG. 158.



Anche l'aria è dilatata dal passaggio della scarica elettrica siccome si dimostra col termometro di Kinnersley (fig. 158.), nel quale la scarica passando attraverso dell'aria vi genera un'espansione per la quale preme sul liquido contenuto in un cannello e lo fa elevare in un altro contiguo più sottile per cui si ha la misura della espansione avvenuta. Il mortajo elettrico (fig. 159.) serve nelle scuole a dimostrare la stessa verità. Esso suol essere di avorio, e la scarica dilatando l'aria spinge la palla fuori.

FIG. 159.



Nel mescuglio di gas idrogeno e gas ossigeno o di gas idrogeno ed aria comune, la scintilla elettrica si comporta come mezzo per accendere l'idrogeno, per cui si ha con essa la solita detonazione. E questo nelle scuole dimostrasi con la *pistola di Volta* (fig. 160) ch'è un recipiente di ottone nelle cui pareti è praticato un foro nel quale s'introduce un filo metallico isolato dal metallo della pistola mercè un cannello di vetro: questo filo nell'interno resta a poca distanza dalle pareti del recipiente e termina esternamente a pallina. Empita la pistola del mescuglio aeriforme, si chiude il suo orifizio con un turacciolo di sughero e poi si fa cadere una scintilla sulla pallina *b*, questa scintilla nel passare dal filo alle pareti della pistola balenerà nell' interno di essa attraverso al mescuglio, e facendolo detonare manderà via con impeto il turacciolo.

FIG. 160.



Le forti e replicate scariche attraverso due condottori metallici terminati a punte ed immersi nell' acqua scompongono questo liquido che con la precedente esperienza si forma, ma cotesto fenomeno si ottiene più regolarmente con la pila.

Le figure di Leichtenberg, mentre sono principalmente la conseguenza delle attrazioni elettriche, pure mostrano delle apparenze che meritano una certa attenzione. Sopra una stiacciata resinosa bene asciutta si passi il bottone della boccia di Leida disegnandovi una figura qualunque, e poscia si faccia lo stesso con la pancia. Indi con un manticetto in cui sia un mescuglio di zolfo e di minio in polvere minutissima si soffi sulla stiacciata. Tosto si distingueranno le tracce segnate dal bottone, ossia di elettricità positiva

da quelle di elettricità negativa segnate con la pancia delle boccia, perocchè le prime divengono gialle perchè attraggono lo zolfo,e le seconde rosse perchè attirano il minio,giacchè lo zolfo si elettrizza nell'uscire del manticetto di elettricità resinosa,ed il minio di elettricità vitrea. Ma il singolare dell'esperienza è, che le figure rosse hanno un contorno ben delineato e le gialle hanno delle diramazioni multiplici di esilissimi filamenti.

La luce elettrica sotto la forma di scintilla si appalesa qualora tra due corpi elettrizzati di contrarie elettricità si trovi iuterposto un coibente, generalmente aeriforme, e la scarica succede. Se poi ci sian punte la luce si vede sotto le apparenze di sopra descritte, ed in certi casi, de'quali parleremo di breve,la luce elettrica in altra guisa si mostra. La scintilla, specialmente se si scaglia a molta distanza,percorre un sentiere tortuoso a zig zag come fa il baleno; talvolta si dirama. La scintilla si mostra nel caso indicato sempre che le due intensità elettriche, una delle quali può esser l'effetto dell'influsso dell'altra, possono superare l' ostacolo del coibente interposto,e però la distanza esplosiva della medesima si prende come misura della tensione. Questa distanza poi, secondo le sperienze di Harris, è maggiore in ragione che scema la densità dell'aria. E però nell'aria molto rarefatta la luce elettrica si diffonde con maggiore facilità, ed assume un'apparenza di aurora boreale. I fisici preparano appositamente de' recipienti da' quali estraggono l'aria con la macchina pneumatica per vedere cotesta luce, e questa esperienza è stata detta dell'*uovo filosofico, dell'aurora boreale* ecc.

Se inclinate e poi raddrizzate un barometro sicchè il mercurio si muova nel cannello, vedrete, stando nel bujo, una luce alquanto pallida nel voto barometrico seguire il mercurio nelle sue oscillazioni e più o meno diffusa, la quale proviene dall'attrito del mercurio col vetro. Cavendish fece due barometri aventi le cime in comunicazione tra loro, ossia con un solo cannello piegato ad arco e vide che quando si facea comunicare il mercurio del pozzetto di uno di questi con l'armatura esterna di una boccia di Leida e quello del pozzetto dell'altro con l'armatura interna della medesima, la scarica avveniva ed il vuoto comune appariva luminoso, dalla quale sperienza sembra potersi inferire che il vuoto sia conduttore dell'elettricità, ma conviene por mente a'vapori di mercurio che si trovano nel vuoto barometrico, oltre a pochissima quantità di aria che pur talvolta vi si asconde. Per la qual cosa il Davy usando maggior diligenza per avere il vuoto più perfetto, e sperimentando a temperature più basse, vide la luce diventare debolissima nel vuoto anzidetto, ed usando altri liquidi in vece di mercurio la lu-

ce variò di colore da mostrare ch'essa attraversava materie diverse. Molti fisici per conseguenza son di credere che il vuoto perfetto non possa fare apparire la luce elettrica la quale solo si può mostrare sulla materia ponderabile, e pensano che il vuoto perfetto non sarebbe conduttore dell'elettrico. Da un'altra banda risulta dalle sperienze di Harris e di Becquerel che un elettroscopio può rimanere nel vuoto pneumatico con debole tensione la quale diminuisce accostandovi una verga metallica e ritorna quando questa si allontana, il che dimostra come l'influsso operi attraverso il vuoto della macchina pneumatica ossia attraverso l'aria molto rarefatta. Nel vuoto perfetto si crede non potersi un conduttore caricare, e le deboli cariche degli elettroscopî nel vuoto preumatico si fanno dipendere dalla poca aria rimasta nel recipiente: or se le cose procedono così e la elettricità nel vuoto si dissipa, converrebbe concludere che questo sia buon conduttore dell'elettricità. Se si potessero avere spazî perfettamente vuoti sarebbe importante il poter decidere se l'elettrico passa attraverso il puro spazio privo affatto di materia ponderabile, perocchè dato che attraverso del vuoto perfetto l'elettrico potesse passare, bisognerebbe concludere che questo sia veramente distinto dalla materia ponderabile, o almeno che un'imponderabile nello spazio vuoto avendo esistenza, trasmetta le azioni elettriche a distanza.

Che che sia di questo, tornando a'fenomeni della scintilla diciamo, che la sua distanza esplosiva non varia al variare della temperatura dell'aria, purchè la densità rimanga la stessa, ma cotesta distanza esplosiva varia ne' varî fluidi aeriformi secondo le osservazioni del Faraday, e per un medesimo fluido è sempre minore quella che si trae da un corpo negativamente elettrizzato, il che potrebbe per avventura dinotare che la scarica proviene sempre dal corpo elettrizzato positivamente per cui quando il conduttore è negativo la scintilla procedendo dall'altro elettrizzato per influsso accenna ad una tensione minore, ma questa non è che una congettura. La scintilla poi ha vario colore secondo la natura de' fluidi aeriformi attraverso i quali passa, e secondo quella de' conduttori tra quali si fa balenare. Per la qual cosa la luce è una manifestazione dell'elettrico per l'azione che il medesimo esercita sulla materia, e noi abbiamo già notato come una parte di essa molto attenuata sia trasportata dalle scariche, ma appresso ne avremo prova anche più chiare e spiccate. Non pensiamo per altro col Fusinieri che la luce elettrica derivi unicamente dalla materia ponderabile trasportata, ma ci pare probabile che sia una conseguenza delle azioni che l'elettrico esercita sulla materia. E per fermo le scariche elettriche non solo trasportano una parte molto tenue de' condut-

tori la quale ridotta incandescente spesso si ossida, ma generano effetti fisici e chimici sopra i fluidi aeriformi che attraversano. Se la combinazione dell'idrogeno con l'ossigeno nella esperienza della pistola della Volta non basta a provare cotesta efficacia chimica della scarica elettrica, perocchè simile effetto si avrebbe con la fiamma, con la spugna di platino rovente, ecc., ci ha combinazioni chimiche che si effettuano proprio dall'azione dell'elettricità. Priestley e Cavendish furono i primi ad avvedersi che la scintilla attraverso dell'aria determina la combinazione dell'ossigeno con l'azoto che sono i componenti di questa, generando acido azotico il quale si trova nelle acque delle piogge temporalesche, secondo le osservazioni di Liebig, prodotto sicuramente dalle grandi scariche elettriche che sono i fulmini. Somigliante azione esercitano le scariche sopra molti altri mescugli di fluidi aeriformi, come per esempio di cloro ed idrogeno, d'idrogeno solforato ed ossigeno ec. Nè solo si hanno combinazioni, ma eziandio analisi quando le scariche attraversano fluidi aeriformi composti, come per esempio l'acido idroclorico, l'ammoniaca ec. I liquidi sono parimenti scomposti, ma meglio con le correnti continue siccome appresso si dirà. Non è agevole a dare ragione di cotesti opposti effetti della elettricità, di scomporre cioè alcuni fluidi aeriformi composti e di combinarne altri. Or ponendo mente alla temperatura che si eleva, alla compressione che si genera, alle materie che si trasportano, alle alterazioni fisiche e chimiche che queste subiscono ed all'azione chimica che la scintilla spiega sopra i fluidi aeriformi che attraversa, intenderete come la scintilla debba cangiare le sue apparenze variando la natura de'conduttori o quella de'mezzi ne'quali si mostra.

Ci ha de'corpi che esposti alla luce solare diretta appariscono poi nel bujo luminosi, splendendo di una luce fioca e di vario colore; una simile fosforescenza si acquista talvolta per semplice elevazione di temperatura. Ora la scintilla elettrica rimane sopra taluni corpi la fosforescenza, come si può vedere sopra i pani di zucchero, sul solfato nativo di barite, sul cristallo di rocca, sul borace ec.

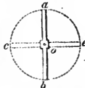
Incollando sopra una lastra di vetro de'pezzettini di foglia di stagno in serie ed a piccola distanza l'uno dall'altro, se il primo di questi si accosti al conduttore della macchina elettrica mentre l'ultimo comunica col suolo, per ogni scintilla che balena dal conduttore se ne vedrà una serie sulla lastra in tutti gl'intervalli tra i pezzetti di stagno come una linea di fuoco la quale pare quasi permanente se le scintille dal conduttore partono con molta frequenza; in tal modo possonsi rappresentare delle lettere o delle figure, e si hanno i così detti *quadri scintillanti*. Cotesti pezzetti di stagno possonsi disporre sulle pareti di globi o di canne di vetro qui ali diconsi *globi* o *canne scintillanti*.

Si sono fatte in questi ultimi tempi ingegnose sperienze per misurare la durata e la velocità della scintilla nell'aria, non che la velocità delle scariche attraverso a'fili metallici. I fisici si avvidero ben presto della somma velocità con cui le scariche si propagavano, siccome sappiamo dalle sperienze di Le Monnier e dell'abate Nollet, i quali in presenza del Re e delle persone di Corte in Francia dettero la scossa a 600 persone che l'ebbero nello stesso tempo, o almeno non si potè notare differenza di sorta. Più tardi nel 1747 Watson con altri non potettero discernere alcuna durata in una scarica che passava per due miglia di filo di ferro e per due miglia di terra umida.

Le prime sperienze sulla durata della scintilla e sulla misura della velocità delle scariche appartengono a Wheatstone (1).

Prendete un tizzoncello col suo carbone ardente ad un estremo, e tenendolo in mano per l'estremo opposto muovetelo rapidamente in giro, voi vedrete un nastro di fuoco: questo fatto che certamente conoscete dalla infanzia ci fa conoscere che la sensazione non si dilegua nel momento in cui cessa la impressione della luce sulla retina, ma dura per un certo tempo ch'è $^1/_{10}$ di minuto secondo, siccome l'esperienza ha dimostrato; per cui se quel carbone descrivesse una circonferenza in $^1/_{10}$ di minuto secondo, ne seguirebbe che noi dovremmo vedere un nastro circolare. Il doppio di questo tempo basterebbe a darvi lo stesso fenomeno se nella circonferenza si trovassero due carboni agli estremi del diametro ec. Or supponete che *oa* (*fig.*161) sia una lamina di argento molto stretta e non brunita, e giri intorno al centro *o* descrivendo il cerchio in $^1/_{10}$ di minuto secondo, è chiaro che voi dovrete vedere un cerchio bianco, e se la lamina rappresenti il diametro *ab* basterà il doppio di questo tempo per vedere il cerchio anzidetto. Se dunque questa lamina si muova in una stanza buia nella quale splende una luce che duri $^1/_{80}$ di minuto secondo, in questo tempo poichè *oa* ha percorso un quadrante ed *ob* l'altro opposto, l'occhio non vedrà il cerchio intero ma due soli quadranti. Dalla grandezza dunque dei settori circolari che si veggono può valutarsi la durata della luce, cosicchè supponete che i settori circolari veduti fossero sottesi da 45° converrebbe dire che la luce durò $^1/_{80}$ di minuto secondo. Se

FIG. 161.

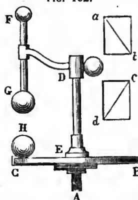


(1) V: l'almanacco dell'Uffizio delle longitudini 1838, Archivi di elettricità 1842, e l'opera di Moigno intitolata: *Trété de Telegraphie electrique*, Parigi 1852, o le memorie originali di Wheatston; *An accaunt of some experiments to mesure the velocity of electricity and the duration of electric light. Phil. Trans.* 1434 p. 583 e seg.

potendosi valutare un arco di due gradi la lamina bianca si vedesse immobile, converebbe dire che la luce abbia durato meno di $^1/_{1800}$ di minuto secondo. Supponendo che le lamine fossero quattro si potrebbero valutare frazioni di tempo più piccole e così appresso. Con questo metodo Arago ha dimostrato che il baleno non dura neppure $^1/_{1000}$ di minuto secondo.

Dalle cose dette si rende aperto perchè la scintilla debba come il lampo mostrarsi al nostro sguardo a guisa di un nastro luminoso, senza poter discernere il cammino della luce; pure Wheatstone immaginò de' metodi di sperimentare molto ingegnosi per rendere aperta la velocità ed il verso di propagazione della scintilla elettrica. La (*fig.* 262) rappresenta uno de'trovati di Wheatstone. *BC* è un disco di legno che può velocemente rotare intorno dell'asse *A*. Questo disco porta un globo di ottone *H* che per una striscia metállica comunica con l'asse metallico *A* e quindi col suolo. Dal centro del disco sorge immobile una colonna di vetro alla quale è unito un bracciuolo al cui estremo tiene un conduttore *FG* terminato a globi: cotesto conduttore può alzarsi ed abbassarsi. Ciò posto supponete il disco *CB* rotante con una velocità che serbi una certa ragione a quella onde la scintilla si propaga nell'aria, è chiaro che passando una scintilla dal conduttore di una macchina elettrica al globo *F* e quindi balenando tra *G* ed *H*, nel caso che la rotazione si facesse da sinistra a destra e la luce andasse da *G* ad *H*, la scintilla dovrebbe percorrere una linea obbliqua come *ab*, se poi andasse di basso in alto la linea dovrebbe essere come *cd*. Ma fatta l'esperienza mentre il disco faceva 50 giri a minuto secondo, la scintilla balenò senza deviamento veruno come se lo strumento fosse in quiete. Or essendo possibile estimare una differenza, pari ad $^1/_{20}$ della circonferenza, così segue che la scintilla passava in meno di $^1/_{1000}$ di minuto secondo.

FIG. 162.



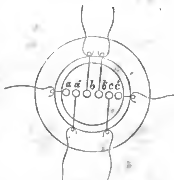
Riuscito infruttuoso questo primo tentativo ricorse il Wheatston al metodo dello specchio rotante. Supponete uno specchio che roti intorno ad un'asse verticale ed innanzi ad esso un punto luminoso, l'immagine di questo si trasformerà in una circonferenza luminosa quando la velocità di rotazione sia sufficiente. Di questa circonferenza l'occhio ne vedrà una porzione tanto più grande per quanto più si trova vicino allo specchio. Or se mentre lo specchio veloce-

mente rota, il punto luminoso si muova parallelamente all'asse di rotazione,la composizione de'due moti della immagine derivanti dal moto del punto lucido e da quello dello specchio dovrà far nascere una risultante diagonale ; e sapendo la velocità di rotazione dello specchio se ne potrà dedurre la direzione e la velocità onde il punto luminoso si muove. Avendo dunque Wheatstone fatto rotare lo specchio con velocità di 50 giri a minuto secondo di modo che la immagine di un punto lucido avrebbe percorso un mezzo grado in $^1/_{7200}$ di minuto secondo, perocchè,siccome vedremo in ottica,la velocità angolare della immagine è doppia di quella dello specchio, ed avendo fatto balenare una vigorosa scintilla di quattro pollici, o molte scintille di una canna scintillante, le immagini si mostrarono come se lo specchio fosse stato in quiete.

Quando le scintille rapidamente si succedevano si osservavano simultaneamente più immagini in diversi punti, perocchè codeste immagini si rinnovavano prima che la sensazione delle antecedenti fosse sparita. La luce elettrica in una canna di vetro vuota di aria guardata direttamente pareva continua, ma nello specchio vedevasi essere una seguela di scariche.

Ma vediamo finalmente come Weatstone riuscì ad estimare la velocità della scarica della boccia di Leida attraverso ad un filo conduttore. L'esperienza fu fatta nella galleria Adelaide a Londra. Un filo di rame di mezzo miglio di lunghezza e di $^1/_{15}$ di pollice di diametro era disposto isolato in tante linee parallele: sopra una lamina poi (*spark-board*) erano isolate sei palline metalliche distanti l'una dall'altra per $^1/_8$ di pollice e messe in una stessa linca orizzontale (fig.163). Le palline a' e c comunicavano co'capi estremi del filo il quale nel mezzo era interrotto dalle palline b e b' cui le due metà del filo si congiungevano, e da ultimo le palline a e c' comunicavano respettivamente con le due armature di una boccia di Leida la quale ricevendo continuamente elettricità si scaricava attraverso del lungo filo mostrando tre scintille nella stessa linea due delle quali prossime alle armature e corrispondenti agli estremi del medesimo,ed una tra b e b' nel mezzo. Le immagini delle tre scintille erano riflesse da uno specchio di acciaro a due facce di un pollice di

FIG. 163.



diametro che con apposito congegno facea **800** giri a minuto secondo intorno ad un asse orizzontale il quale portava nel mezzo un eccitatore che faceva avvenire le scariche quando lo specchio avea una opportuna giacitura. La disposizione dello specchio al suo luogo, della boccia e degli accessorî corrispondenti è dinotata dalla (*fig.* 164) (1). Rotando lo specchio nel modo che di sopra è detto e

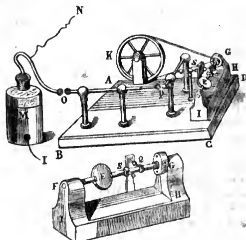


FIG. 164.

scoccando le tre scintille, le loro immagini si videro allungate in questa forma ═══ ovvero in quest'altra ═══ secondo che lo specchio rotava per un verso o per l'altro, il che dimostra che le scintille estreme erano contemporanee e quella di mezzo balenava un poco più tardi. Se l'elettrico si dovesse considerare come un fluido che passa da un'armatura all'altra, le immagini avrebbero dovuto presentare una di queste apparenze ═══ o pure ═══. Sembrerebbe a prima giunta che questi risultamenti favorissero la dottrina de' due fluidi, ma in verità essi possono stare anche nella ipotesi di una sola elettricità, perocchè per entrambi le azioni debbono cominciare dagli estremi e propagarsi verso il mezzo del circuito. Dalla differenza angolare delle tre immagini il fisico inglese conchiuse che la velocità dell'elettrico è superiore a quella della luce, di modo che se quel filo avesse

(1) *M* è la boccia, *N* il filo per cui si carica, *K* la ruota che messa in moto fa rotare lo specchio metallico *E* intorno dell'asse, siccome vedesi più in grande rappresentato a parte. Wheatstone per numerare i giri dello specchio si giovò della sirena di cui sarà discorso in acustica.

circondata la terra secondo l'equatore sarebbe stato percorso in $^1/_{10}$ di minuto secondo. Dalla lunghezza delle immagini finalmente conchiuse la durata delle scintille essere di $^1/_{24000}$ di minuto secondo. Ma la durata della scintilla scoccante dal conduttore della macchina elettrica non diè mai nello specchio l'immagine allungata quantunque la velocità di rotazione del medesimo fosse stata tale da poter fare estimare $^1/_{1000000}$ di minuto secondo. Da ciò risulta che se sopra una ruota ci sia dipinto un oggetto che non si può raffigurare quando essa gira velocemente, si potrà vederlo facendola nel bujo rischiarare dalla luce della scintilla, come se la ruota fosse ferma, così pure gl'insetti volanti si vedrebbero fissi, ed un filo d'acqua che scorre può mostrarvi le gocciole che lo compongono.

La maggiore durata della scintilla della boccia a petto di quella che direttamente si ha dal conduttore è un fatto importante il quale potrebbe per avventura dipendere dalla poca capacità del filo conduttore a trasmettere la scarica in una sola volta come Wheatstone pensa, ma sarebbe utile sperimentare con fili di varie lunghezze, di diverso diametro e di materie diverse.

Torneremo sopra questo argomento per discorrere della velocità di propagazione delle correnti elettriche sperimentata sulle linee telegrafiche.

Effetti fisiologici. Dalle scariche della boccia si ha la scossa ch'è un fenomeno fisiologico, ma dalle correnti continue o interrotte si hanno altri fenomeni de'quali sarà altrove ampiamente discorso.

CONTINUAZIONE DELLA IV SERIE.

ELETTRODINAMICA.

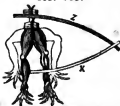
LEZIONE VIII.

SPERIENZE DI GALVANI ED OCCASIONE DELLA SCOPERTA DELLA PILA.

La invenzione della pila segnò un' era nuova negli annali della scienza dell'elettricità e diede origine alla elettrodinamica, per cui crediamo necessario dire brevemente in quale occasione e con quali ragionamenti Alessandro Volta venisse a capo di tanta scoperta.

Verso la fine del passato secolo (1789) Luigi Galvani medico e professore a Bologna trovò che una rana morta di fresco è presa da forti convulsioni quante volte per un arco metallico si mettano in comunicazione i nervi crurali co' muscoli delle cosce (*fig.* 165), e quante volte siffatta comunicazione si toglie (1). Questa esperienza, sulla quale ritorneremo, destò grande ammirazione, e fu tosto da per tutto ripetuta non solo nel gabinetto del fisico, ma per fino sulla banca del cerretano. Il vedere le contrazioni della rana simili alle scosse elettriche, ed il vederle mancare quando si faceano comunicare i nervi co' muscoli mercè corpi coibenti, fece credere che un fluido o identico o simile all'elettrico attraversasse

FIG. 165.



(1) Scorticate la rana e poi toglietene gli arti anteriori con l'addomine, rimanendovi la spina dorsale con le cosce; indi togliete le vertebre lombari salvando i nervi crurali che si veggono scoperti sulle medesime, sicchè vi restino le vertebre dorsali e le cosce unite pe' soli nervi crurali, ed avrete la rana preparata al modo di Galvani.

Alcuni citano un' esperienza descritta da Sulzer 20 anni prima in un'opera intitolata *Teoria generale del piacere*, come un fatto che avrebbe potuto servire a Galvani di occasione. Questa esperienza consiste nel porre una lamina di rame sotto la lingua ed una di zinco sopra o pure all'opposto, e facendole toccare di fuori; in questo momento si prova un sapore acido od alcalino, e talvolta una contrazione nella lingua. Altri poi citano una scossa che il nostro Cotugno o un suo discepolo (V. Becquerell Trattato ec. t. I)

l'arco metallico, nel momento della contrazione, il quale fluido si sarebbe trovato nella rana che veniva paragonata ad una boccia di Leida le cui armature erano rappresentate da' nervi e da' muscoli. Questo fluido ipotetico,dal nome dello scopritore,fu detto *galvanico*. Alessandro Volta professore a Pavia, scevro di prevenzioni pel fluido vitale vagheggiato in quel tempo da' fisiologi, e dotato d'ingegno investigatore, sebbene accogliesse da prima le idee di Galvani, pure poco dopo giudicò la rana passiva nel fenomeno perchè attraversata essa stessa da una scarica elettrica. Ma quale sarebbe stata la origine di quella elettricità che attraversando i nervi ed i muscoli della rana l'avrebbe fatta convellere? Il Volta pensò che il semplice contatto de' metalli eterogenei potesse essere cagione di svolgimento di elettricità, onde si avevano sempre più vive contrazioni nelle rane quando l' arco metallico fosse di due metalli rame e zinco,per esempio, siccome lo stesso Galvani avea il primo avvertito. Surse sul proposito una disputa tra Galvani e Volta e quindi tra' seguaci dell'una e dell'altra sentenza, e ciascuno si adoperava a metter fuori nuove sperienze in favore della propria opinione. Si adduceva da Galvani che le convulsioni delle rane si hanno anche con un solo metallo ancorchè puro, e Volta rispondeva mostrando come le contrazioni avute con un solo metallo fossero molto più deboli, e que' metalli che noi crediamo puri ed omogenei non esserlo poi assolutamente. Ma Galvani finalmente dimostrava potersi avere nella rana le contrazioni senza metalli portando i nervi ad immediato contatto co'muscoli, e Volta nella verità di questo fatto ravvisare la generalità del principio che avea assunto prima in particolare, e sosteneva che generalmente quando due corpi conduttori eterogenei si toccano ci ha svolgimento di elettricità; e però doversi il contatto annoverare tra le cagioni che svolgono elettrico da' corpi. Ma Volta se partì da una ipotesi s' ingegnò tosto a mostrare che quando due metalli eterogenei si toccano effettivamente uno mostra elettricità positiva e l'altro elettricità negativa. Una lamina metà rame e me-

provò nel braccio sezionando un topo vivo nel 1786,fatto che fu annunziato nel *giornale enciclopedico di Bologna*. Ma il sapore con le lamine di Sulzer raramente va unito a contrazione della lingua, nè pare che Galvani sia partito da questo dato, ed il fatto di Cotugno disgraziatamente non si è più riprodotto,per quanto mi è noto, nè mai sono io stesso riuscito a riprodurlo, nell'atto che tutti possono ripetere con esito sicuro le sperienze di Galvani. Il volere per un falso amor patrio dichiarare Cotugno scopritore del galvanismo,senza prima dimostrare che il fatto annunciato da questo celebre anatomico sia vero, è cosa ridicola e poco decorosa per la memoria di un uomo che ha altri titoli per esser ricordato da 'posteri.

tà zinco saldati insieme ed un elettroscopio condensatore bastano a provare che lo zinco tiene elettricità positiva ed il rame elettricità negativa. Noi torneremo sulle sperienze del Volta e de' suoi seguaci quando esporremo la teorica della pila, perchè in questo momento vogliamo solo indicare la origine storica di così importante trovato.

Essendosi dunque il Volta per esperienza fatto sicuro che col contatto ci ha svolgimento di elettricità, denominò *forza elettromotrice* quella che genera siffatto squilibrio,ed *elettromotori* i corpi che toccandosi tal forza appalesano; riconobbe ne' metalli, nel carbone ed in qualche altro minerale i migliori elettromotori, e considerò i corpi umidi come buoni conduttori dotati di debolissima forza elettromotrice.

Trovata così nel contatto una nuova cagione di elettricità cercò il Volta in quale ordine dovessero disporsi gli elettromotori per rispetto alla elettricità che mostrano nel toccarsi,e li dispose in serie l'uno dopo l'altro in modo che ciascuno è negativo per rispetto a quelli che seguono e positivo per rispetto a quelli che precedono: così trovando per esempio notato *argento*, *rame*, *ferro*, *stagno*, *piombo*, *zinco*, il rame sarà negativo per rispetto allo zinco e positivo per rispetto all' argento; e di più la tensione è maggiore nella coppia formata da due metalli secondo che più lontani sono nella serie; così tra i metalli sopra notati la migliore coppia sarebbe quella composta di argento e zinco. Ma una coppia anche la migliore dava una tensione molto piccola; si propose dunque il Volta di trovar modo di accumulare gli effetti di molte coppie per avere copiosa sorgente di elettricità, e vide che soprapponendo tutti gli elettromotori secondo la serie sopra citata egli avea quella stessa tensione che davano i soli estremi messi ad immediato contatto. Se per contro volea fare uso di due metalli, moltiplicando le coppie, era impossibile avere la somma di tutte le tensioni, perocchè supponete che un disco di zinco sia soprapposto ad un altro di rame, il primo prenderà una tensione positiva e l'altro negativa; or se sullo zinco soprapporrete un altro disco di rame, è chiaro che la forza elettromotrice operando al secondo contatto con lo zinco per direzione contraria a quella del primo contatto,si avrà equilibrio; ma il fisico di Como vinse coteste difficoltà ricorrendo a' corpi umidi e compose finalmente la pila, la quale tra le mani di lui ebbe due forme; ma se ora egli potesse sorgere dalla tomba per rivedere tra le mani de' posteri il suo mirabile strumento, quasi più nol riconoscerebbe, tanto è diverso da quel di prima, e troverebbe un'altra teorica detta *elettro-chimica* minacciare quasi all'obblio quella della forza elettromotrice. Non

volendo discorrervi minutamente di tutte le varie modificazioni della pila, ma solo di quelle delle quali oggi si fa uso, ve le dividerò in due famiglie che diremo *pile ad un liquido*, e *pile a due liquidi*, cui aggiungeremo le *pile a secco* ed a suo tempo la *pila a gas*. Quando avremo veduti gli effetti della pila cercheremo di giudicare le teoriche che si disputano la gloria di dar ragione de'maravigliosi effetti della medesima, ma prima di tutto, a compimento di queste brevi notizie sulla origine della pila, vi dirò come la medesima fu composta e con quale ragionamento.

Supponete di aver preparato molti dischi di rame ed altrettanti di zinco, ed ogni disco di rame sia saldato ad uno zinco da avere così molte coppie. Ponendo una di queste sopra una tavola col rame sotto affinchè comunichi col suolo, ne avverrà che per la forza elettromotrice che opera al contatto, il rame prenderà elettricità negativa e lo zinco elettricità positiva, ma il rame essendo in comunicazione col suolo si metterà a zero e lo zinco resterà con una tensione positiva ch'è in equilibrio con la forza elettromotrice. Ora ponendo sullo zinco una rotella di panno bagnata in acqua acidola o salata, questa, prescindendo dalla forza elettromotrice debolissima che ha come corpo umido, farà l'uffizio di conduttore e prenderà dallo zinco la stessa tensione, perocchè la elettricità che questo dovrebbe perdere vien riparata della forza elettromotrice la quale è una forza continua che solo cessa dallo svolgere elettricità quando la tensione prodotta si compone con essa in equilibrio, talchè se lo zinco per esempio aveva presa una tensione positiva eguale ad 1, anche la rotella umida avrà la stessa tensione. Ora ponete sulla rotella umida una seconda coppia di rame e zinco, sempre col rame sotto, ed il secondo rame prenderà eziandio una tensione uno, ma il secondo zinco oltre a questa tensione che prende come conduttore ne dovrà prendere un'altra anche eguale ad 1 per la forza elettromotrice che opera sulla seconda coppia, ed avrà una tensione 2; e così seguitando si troverebbe che l'altra rotella messa sulla seconda coppia dovrebbe avere una tensione 2 del pari che il terzo rame, ed il terzo zinco una tensione 3 ec.; di modo che con cento coppie si avrebbe al centesimo zinco una tensione 100. Questa legge di accrescimento di tensione poi avrebbe un limite quando la tensione acquistata dall'ultimo zinco non potrebbe più essere mantenuta isolata dalla pila.

Se aveste composta la pila in ordine inverso cominciando dallo zinco, avreste avuto al centesimo rame anche una tensione 100, ma di elettricità negativa ed il primo zinco a zero. Fingete ora che questa pila che ha il primo zinco a zero si unisca all'altra che avea il primo rame a zero, base con base, interponendovi una ro-

tella umida, si avrebbe così una pila di 200 coppie la quale avrebbe una tensione nulla nel mezzo che andrebbe crescendo verso gli estremi in senso contrario, da diventare eguale a 100 di elettricità positiva all'estremo zinco, e 100 di elettricità negativa all'estremo rame. Quando dunque la pila è isolata ha due elettricità, e quando uno de' suoi estremi è in comunicazione col suolo ne ha una sola, ma la forza totale è sempre la stessa. E per fermo se supponete la pila di 200 coppie col primo rame in comunicazione col suolo, avrete all'ultimo zinco una tensione positiva eguale a 200, ed essendo la pila isolata avrete 100 di tensione positiva sull'ultimo zinco e 100 di tensione negativa sul primo rame. Gli estremi della pila furono detti *poli* ed in ispecie l'estremo zinco fu detto *polo positivo* e *polo negativo* l'estremo rame. Facendo partire da ciascun polo della pila un filo metallico (*fig.* 166) (1) ed accostando questi fili a piccola distanza, o meglio, stropicciandoli tra loro, si vedrà una serie di scintille balenare nella interruzione, per cui quando questi fili sono perennemente congiunti si dice che una corrente elettrica circola per essi dal polo positivo al polo negativo, e da questo a quello entro la pila. In questo caso quelle tensioni delle quali di sopra è detto spariscono e l'elettrico passa dalle condizioni statiche alle dinamiche. Quando i poli della pila son messi in comunicazione si dice che il *circuito è chiuso*, quantunque altri lo dice allora *aperto*, ed *interrotto* quando siffatta comunicazione si toglie. I fili co'quali il circuito si chiude diconsi *reofori*, *fili congiuntivi* e talvolta anche *elettrodi*. Ecco presso a poco come ragionò il Volta quando inventò la pila e quale forma essa si ebbe da prima; ma come le rotelle umide inferiori premute dalle coppie superiori si asciugavano perdendo di efficacia, ed il liquido spremuto scorrendo alla superficie della pila parzialmente la scaricava, così il Volta ideò la *pila a corona di tazze* (fig. 167) la quale consiste in una serie di bicchieri messi l'un presso l'altro, sopra una tavola, con entro acqua acidolata o sala-

FIG. 166.



FIG. 167



(1) La parte superiore della figura dinota più in grande la disposizione di alcune coppie e la parte inferiore la intera pila a colonna.

ta ed in una serie di archi metallici ciascuno formato metà rame e metà zinco messi a cavalcioni sopra i bicchieri in modo che dove pesca il rame del primo ivi peschi lo zinco del secondo e così appresso, in guisa che il primo bicchiere contiene solo lo zinco della prima coppia, l'ultimo solo il rame dell'ultima, e tutti gli altri contengono il rame di una coppia e lo zinco della coppia seguente. Il primo bicchiere rappresenta il polo positivo di quest'altro apparato elettromatore voltaico, e l'ultimo il polo negativo. Nel primo bicchiere dove è lo zinco della prima coppia si suol mettere una lamina di rame, e nell'ultimo, dove è il rame, una lamina di zinco, alle quali lamine si congiungono i fili per chiudere il circuito, ed allora la corrente andrà pel filo dal rame allo zinco, e ciò perchè, secondo la teorica del Volta, queste due lamine non fanno coppie, ma si comportano come semplici conduttori che raccolgono le elettricità che si trovano nelle cellule estreme ossia negli estremi bicchieri. Le prime sperienze della pila furono dirette a' fenomeni galvanici generando forti contrazioni muscolari sopra animali morti di fresco, e sopra i cadaveri de'condannati, le quali eccitarono il più grande stupore, e già credevasi che si potesse giungere a risuscitare i morti. La immaginazione colpita da questi maravigliosi fenomeni si trasportava volentieri nella illusione di vedere ne' fenomeni galvanici il segreto della vita, rappresentandosi la spina dorsale come una pila a colonna. Ma la ragione venne ben presto a dissipare le illusioni de' filosofi materialisti del secolo, e la pila fè meglio conoscere i suoi svariati e maravigliosi effetti. La pila a colonna è andata del tutto in disuso, e raramente si adopera la pila a corona di tazze, voglio perciò, dopo queste notizie attenenti alla origine della pila, dirvi quale essa è ora tra le mani de' fisici. Ma prima di procedere più oltre è mestieri che vi parli di uno strumento indicatore delle elettricità dinamica la cui mercè possiamo conoscere l'esistenza, la direzione e, tra certi limiti, la misura delle correnti, giacchè se voi non chiudete il circuito la pila vi dà tensione a misurar la quale valgono gli elettrometri, ma come prima voi chiudete il circuito ogni tensione si dilegua.

LEZIONE IX.

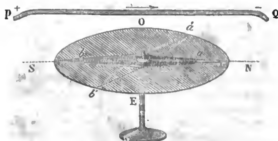
GALVANOMETRO O MOLTIPLICATORE

Quando il circuito è chiuso la corrente non avendo più azione sugli elettroscopi manifesta alcune altre azioni delle quali dovre-

mo discorrere tra poco, ma dobbiamo anticipatamente dire come essa si comporti con l'ago calamitato per intendere la natura del galvanometro di cui abbiamo tanto bisogno in elettrodinamica.

L'azione della corrente elettrica sull'ago calamitato fu scoperta da Oersted nel 1820 ed espressa da Ampere ne' segueuti termini: *La corrente elettrica tende a volgere l'ago calamitato in croce con essa col polo australe a sinistra.* Per intendere poi quale è la sinistra della corrente (*fig.* 168), immaginate che il conduttore PQ attraversato

FIG. 168.

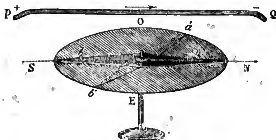


da una corrente che vada da P in Q, cioè secondo la direzione della freccia, sia trasformato in un fantoccio che abbia i piedi verso P, il capo verso Q e la faccia rivolta all'ago *ab* fermo nel meridiano magnetico SN, e bilicato sopra una punta verticale collocata sul piano EO, la sinistra di questo fantoccio rappresenterà la sinistra della corrente. L'ago dunque in questo caso tenderebbe a volgersi in croce con la corrente col polo australe a sinistra, vale a dire secondo la giacitura *a' b'*, dinotando con *a* e *b* il polo australe ed il polo boreale dell'ago. Abbiamo detto che la corrente *tende* a volgere l'ago in croce con essa, perocchè in fatto l'ago devia per un angolo più grande secondo che minore è la distanza dal conduttore e più grande è la intensità della corrente, e ciò perchè la forza di questa è contrastata dall'altra direttrice della terra per cui l'ago tende a rimanersi o a ritornare nel meridiano magnetico. Per la qual cosa se si pongano due aghi (fig. 169) di forze eguali e co'poli opposti nel medesimo piano sicchè la forza direttrice della terra resti neutralizzata, con questi aghi, che formano il così detto *sistema astatico*, si può vedere che la corrente riduce veramente l'ago sul quale si fa operare in croce con essa col polo australe a sinistra.

FIG. 169.

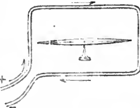


Tornando poi alla fig.168, se supporrete che la corrente PQ



serbando la stessa direzione passi per sotto all'ago *a b*, non durerete fatica ad intendere che questo dovrà deviare per verso contrario, perocchè ponendo il fantoccio di sotto diretto come prima, ma con la faccia in alto perchè deve sempre guardare l'ago, vedrete che la sua sinistra si trova alla parte opposta di quella ch'era nel primo caso. Onde un ago collocato tra due correnti che vadano per lo stesso verso tenderebbe a deviare per versi contrarî, di modo che se le due correnti esercitassero eguali azioni sul medesimo, essendo queste azioni contrarie, l'ago non si dovrebbe muovere. E per contro se le due correnti andassero per versi contrarî le loro azioni o, come dicesi, i loro conflitti sarebbero cospiranti, vale a dire tenderebbero a generare il medesimo deviamento sull'ago. E se finalmente supporrete che un filometallico giri intorno all'ago a mo' di rettangolo, non sarà malagevole intendere che passando per esso una corrente tutte le parti della medesima tenderanno a volgere l'ago dalla stessa parte (fig. 170).

FIG. 170.

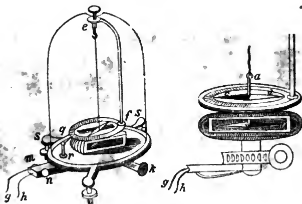


Volendo dunque conoscere se per un filo metallico passi una corrente basterà vedere se l'ago calamitato bilicato o sospeso accostato a questo filo devii dalla sua giacitura di quiete, perocchè dal deviamento dell'ago noi verremo assicurati della esistenza della corrente non solo, ma eziandio della sua direzione, notando il verso del deviamento, e finalmente dalla grandezza del deviamento avremo anche una certa misura dalla intensità della medesima, siccome a suo tempo verremo dichiarando. Ma se le correnti fossero molto deboli potrebbero non avere forza bastante a vincere la inerzia dell'ago e la forza direttrice della terra, e non si avrebbe indicazione veruna o pure si avrebbero deviamenti insensibili. A

rendere dunque la efficacia della corrente sull'ago più grande da fare aperte delle correnti molto deboli, fu inventato da Schweiger il *galvanometro*, *reometro*, o *moltiplicatore* che dir si voglia, il quale in elettrodinamica vale quando l'elettroscopio condensatore in elettrostatica.

Si prenda dunque un lungo filo di rame vestito di seta e si avvolga a guisa di una matassa sopra un telajo di legno o di avorio (fig. 171): sulla faccia superiore della matassa, scostando i fili, si

FIG. 171.

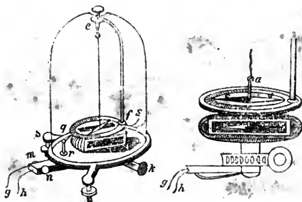


faccia un apertura romboidale per la quale si fa entrare nel telajo, ossia nell'interno della matassa, un ago calamitato *e f* dal cui mezzo *b* parte un'asticella metallica *ba*, la quale, fuori della matassa e sopra un cerchio graduato situato sulla medesima, porta un indice *cd* parallelo all'ago *ef*: quest'indice è un'asticella sottile di legno o di ottone. In *a* ci ha un piccolo uncino cui si lega un filo di bozzolo il quale è raccomandato ad un altro uncinetto superiore *e* che mercè una vite può salire e scendere a piacimento. Tutto questo come si vede è posto sopra una base di legno o di ottone con viti di livello e coperto da una campana di vetro per preservare l'ago dalle agitazioni dell'aria. I due capi *g* ed *h* del filo vanno a terminare all'estremo di una stecca di avorio in due pezzi metallici *m*,*n* a quali si congiungono i fili pe'quali deve passare la corrente, affinchè la matassa chiuda il circuito e ne faccia parte: una vite perpetua *k* serve a far girare il telaio intorno al suo centro per portare l'ago parallelo alla direzione de'fili, e quindi l'indice sullo zero delle divisioni del cerchio.

Supponete ora che i due capi *m* ed *n* della matassa o del filo gal-

vanometrico chiudano un circuito, la corrente dovrà percorrere tutte le circonvoluzioni del filo di rame, giacchè il medesimo essendo vestito di seta, l'elettricità non potrà passare da un filo all'altro contiguo, e però girando la corrente intorno all'ago tante volte per quanti sono i giri della matassa, eserciterà altrettante azioni sull'ago da dare al medesimo un deviamento maggiore di quello che avrebbe sofferto se la corrente avesse girato una volta sola intorno al medesimo. Vedremo appresso come questo ragionamento di Schweiger non fosse rigorosamente vero, perocchè conosceremo che col fare il filo più lungo la corrente diviene più debole, e ciò non pertanto impareremo a conoscere come nella maggior parte de'casi il galvanometro riesca utile. Ma potete fino da questo momento intendere, la sensibilità del galvanometro non essere sempre maggiore con la maggiore lunghezza del filo, ed appresso vedremo in quali casi debba essere a filo lungo ed in quali a filo corto.

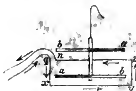
Nobili diede al galvanometro una maggiore squisitezza sostituendo all'indice di Schweiger un altro ago *c d* (*fig.*170) co'poli opposti



a quelli dell'ago *e f*, ossia facendo il sistema astatico; per tal modo la forza direttrice della terra si può rendere piccola quando si vuole, e la corrente opera anche sull'ago esterno per cui lo strumento diviene molto più sensibile. Potreste a prima giunta credere che l'azione della corrente sull' ago esterno dovesse essere opposta a quella sull'ago interno, ma non è così, e facendovi il conto con la formola amperiana troverete che il polo australe dell' ago interno ed il boreale dell'esterno che sono dalla stessa parte debbono deviare per lo stesso verso. E per fermo volgendo uno sguardo alla

fig. 172 e supponendo che la corrente vada secondo le frecce, vedrete che ponendo il fantoccio co'piedi in *z* col capo in *n*, affinchè la corrente vada da piedi al capo, e con la faccia rivolta all'ago interno, la sinistra di questo sarà in fuori ed il polo australe dell'ago interno dovrebbe venire avanti, ma voltando questo fantoccio con la faccia sopra per vedere l'azione della corrente sull'ago esterno, la sua sinistra si troverà alla parte apposta e però il polo australe dell'ago esterno deve volgersi in dentro d'accordo cioè col boreale dell'ago interno, e quindi il boreale del primo deve venire avanti d'accordo col polo australe del secondo.

FIG. 172.



Vuolsi poi avvertire che se i due aghi formassero un sistema perfettamente astatico, essi darebbero sempre 90° di deviamento per tutte le correnti, e cessata l'azione di queste, non tornerebbero a zero, ma resterebbero in quella giacitura nella quale furono dalla corrente ridotti, perocchè è la corrente che devia l'ago, e la forza direttrice della terra lo riconduce nella giacitura primitiva. Onde conviene che un ago sia un poco più fortemente calamitato dell'altro, e lo strumento, poste le altre cose eguali, sarà tanto più sensibile per quanto meno differenza di forza abbiano i due aghi.

Parrebbe che facendo il galvanometro con un solo ago debolmente calamitato si dovesse avere il medesimo risultamento, ma non è così, perocchè se per tal modo si ha meno forza direttrice da combattere, si ha eziandio minore azione da parte della corrente, perocchè il deviamento deriva e dalla forza della corrente e dalla intensità del magnetismo nell'ago.

Alle volte sopra un medesimo telajo si adagiano due fili da formare due matasse distinte, ed allora si possono nello stesso tempo far passare due correnti per opposte direzioni per vedere la loro differenza, ed il galvanometro in questo caso ha ricevuto l'aggiunto di *differenziale*.

LEZIONE X.

VARÎ MODI DI FARE LA PILA.

Pile ad un liquido. In un vase di vetro A B (*fig.*173), con entro acqua ed acido solforico, immergete due lamine di due metalli diversi uno de quali sia chimicamente attaccato dal liquido, e l'altro non lo sia, o anche lo sia meno dell'altro; congiungete queste due lamine *z* e *p* con due fili metallici i cui capi *m* ed *n* si facciano comunicare con quelli di un galvanometro, e vedrete circolare per questo una corrente che andrà dal metallo non attaccato o meno attaccato all'attaccato o più attaccato, e per conseguenza entro del liquido seguirà l'opposto cammino. Se poi rimarrete il circuito interrotto, allora potrete coll' elettroscopio condensatore vedere una tensione positiva nel primo metallo ed una negativa nel secondo. Ecco quale è la coppia più semplice della pila ad un liquido. Supponete che i due metalli siano platino e zinco amalgamato (1) ed avrete la coppia della pila di Smee che si può tenere come tipo nella famiglia delle pile ad un liquido. Uuite molte di queste coppie in modo, per esempio, che il platino della prima si unisca allo zinco della seconda, il platino di questa allo zinco della terza, e così appresso (*fig.* 174), sicchè resti libero il primo zinco e l'ultimo platino, ed avrete la pila di quel numero di coppie che volete, nella quale il primo zinco farà da polo negativo e l'ultimo platino da polo positivo, ossia la cor-

FIG. 173.

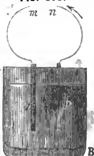
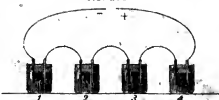


FIG. 174.



(1) Vedremo appresso perchè si amalgama lo zinco, per ora è mestieri che sappiate amalgamarlo; e per questo basterà dopo che lo zinco è stato per un momento nell'acqua acidolata con acido solforico, versarvi sopra qualche goccia di mercurio il quale vi si spanderà facilmente, e tanto meglio se lo aiutate con una pezzolina: il platino poi si vuol che non sia molto levigato, e però s'usa di precipitarvi sopra dell'altro platino e si ha così il platino platinato.

rente attraverso de'fili metallici che congiungono i poli della pila o de' *reofori*, andrà dal platino allo zinco.

La quantità della elettricità dipende dall'ampiezza,e la tensione dal numero delle coppie (1). Volendo dar alle lamine una maggiore superficie senza accrescere il volume del vase si possono piegare in forma cilindrica.

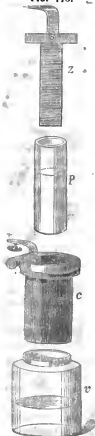
La *pila di Wollaston*, ch'è formata di rame e zinco non amalgamato, ha ciascuna lamina di zinco circondata dal rame dall'una faccia e dell'altra, con alcune congegnazioni meccaniche per levare le coppie o almeno lo zinco dal liquido ne'momenti in cui la pila non deve essere in azione. Il liquido comunemente adoperato è acqua con acido solforico ed acido nitrico, e quando non s'abbia bisogno di molta forza s'usa acqua di mare. Maggiore quantità di acidi dà alla pila ne' primi momenti più energia, ma più presto si rallenta, perchè lo zinco si copre di quel nero, prodotto dall'azione del liquido, e rende la pila di poca o nulla efficacia.

Sturgeon ha fatto la pila con zinco ferro ed acqua acidolata. La coppia di questa pila è formata da un vaso cilindrico di ferro fuso con entro 8 parti di acqua mescolata ad una o due parti in volume di acido solforico; nel mezzo di questo vaso sta un cilindro di zinco amalgamato poggiato sopra un disco di legno. Ognuno intende come si possono più coppie unire insieme per formare una pila nella quale la corrente pe' reofori andrà dal ferro allo zinco, ossia il ferro rappresenterà il polo positivo e lo zinco il negativo.

Pila di Bagration. Il principe di Bagration Capitano delle Guardie dell'Imperatore di Russia immaginò una pila che fu molto commendata pel suo modico prezzo, per la costanza e per la durata dei suoi effetti, per cui in Inghilterra è adoperata pe'telegrafi elettrici. Ecco in che consiste la coppia di questa pila. In un vase di vetro di argilla o anche di legno si pone della terra o della sabbia che di tempo in tempo si bagna con soluzione d' indroclorato d' ammoniaca, in questa sabbia s'introducono due lamine una di rame ed una di zinco molto vicine. Queste lamine si spiegano in forma cilindrica e si pongono l'una dentro l'altra affinchè con sufficiente superficie la coppia occupi piccolo volume. Alcuni avvertono essere utile prima di collocare le lamine di rame nella terra, immergerle per pochi momenti in una soluzione di sale ammoniaco e la-

(1) La voce tensione applicata alle correnti parrebbe che non dovesse avere alcun significato, ma sogliono dirsi correnti di maggiore tensione quelle che possono vincere più grandi resistenze, e così la tensione in elettrodinamica è realmente l'effetto della tensione elettrostatica, supponendo che dalle condizioni di equilibrio siasi passato a quelle di moto.

FIG. 175.



sciarle asciugare. Altri trovano l'acido solforico allungato come liquido molto opportuno a bagnare la terra ne' vasi che contengono le lamine. Botto e Maiocchi preferiscono la cenere o l'argilla all'arena nella fabbrica di coteste pile.

Lascio volentieri la descrizione di altre pile ad un liquido quali sono quelle di Faraday, di Wheatstone, di Young, di Munch ec. perocchè le pile ad un liquido, ad eccezione di quella di Smee e di Bagration, per la poca durata di loro efficacia, vengono oggi raramente usate da' fisici (1), essendo quelle a due liquidi superiori per forza e per durata, onde ebbero il nome di *pile a forza costante*. Descriveremo dunque le principali di queste (2).

Pila a due due liquidi. Ogni coppia di queste è composta di due solidi e due liquidi i quali debbono essere contenuti in due vasi distinti, sebbene come vedremo si possan fare delle pile con due liquidi ed un solido, e forse anco con due liquidi soli.

FIG. 175. bis.

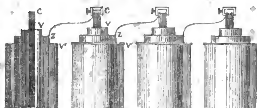
Pila di Bunsen. In un vase di vetro *v* (*fig.* 175) ci sia acido nitrico del commercio, in questo si ponga un cilindro *c* di carbone vuoto e senza fondo con alcuni buchi nelle sue pareti, il quale abbia all' orlo superiore una fascetta di rame che lo cinga con un'appendice sporgente. Nel cilindro di carbone s' introduca un vaso poroso *p* di porcellana a mezza cottura e senza vernice con entro acqua acidolata con $^1/_{10}$ circa del suo volume di acido solforico, e dentro di questo finalmente si ponga un cilindro *z* di zinco amalgamato. In tal modo avrete composta la coppia della pila di Bunsen dinotata dalla figura 175 bis.

(1) V. per questo il Pouillet.

(2) Volendo fare delle coppie molto grandi senza che occupassero molto volume si fece la *pila spirale*. Si prendano due lamine rettangolari molto lunghe, una di rame e l'altra di zinco, e si avvolgano a spira rimanendo tra l'una e l'altra un piccolo intervallo. Questo involto di forma cilindrica si tuffa in un vase della stessa figura con entro acqua acidolata, e si ha una

Spesso si dà alle parti di questa coppia un ordine inverso. Vale a dire nel vase di vetro *V* (*fig.* 176) si pone l'acqua accidolata col cilindro z di zinco amalgamato, dentro di questo il vase poroso *V'* con entro acido nitrico, ed in questo finalmente il carbone *C*. In ogni caso la corrente andrà del carbone allo zinco, e la pila di più coppie si comporrà facendo comunicare il zinco della prima col carbone della seconda, il zinco della seconda col carbone della terza, e così appresso, restando liberi il primo carbone e l'ultimo zinco che rappresentano i due poli della pila.

FIG. 176.



Or se in questa seconda disposizione data alla coppia di Bunsen voi sostituirete al carbone una sottile lamina di platino (*fig.* 177), avrete la coppia della pila di Growe che potete tenere quale tipo delle pile a due liquidi, essendo la più forte di tutte le pile finora conosciute. La corrente in questa pila andrà dal platino allo zinco.

FIG. 177.



Se nella prima disposizione data alla coppia di Bunsen invece del cilindro di carbone ne supponete uno di rame, ed invece di acido nitrico, soluzione satura di solfato di rame, avrete la coppia di Daniel in cui il rame rappresenta il polo positivo e lo zinco il negativo. In questa coppia si può risparmiare il vase di vetro facendo il cilindro di rame col fondo, sicchè diventi vase (*fig.* 178) Il vaso poroso poi si è fatto ora di vescica, ora di tela ec. Importa notare che in questa pila il solfato di rame si scompone, siccome appresso si dirà, e quindi la soluzione s' impoverisce con infievolimento della corrente; è però che la coppia deve tenere sempre de'cristalli di solfato di rame soprabbondanti in contatto col liquido da poter continuamente rendere satura la soluzione.

FIG. 178

La pila a secco del Zamboni la poniamo in una categoria a parte per la singolarità che presenta nella durata de'suoi effetti, quantunque secondo la teorica elet-

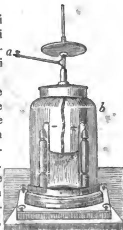
coppia di molta quantità. Hare che riunì molte di queste coppie ebbe degli effetti portentosi, perocchè aveasi ad un tempo enorme quantità con forte tensione. Egli diede a questa pila il nome di *deflagratore*.

trochimica verrebbe ad esser collocata tra le pile ad un liquido. Questa pila si fa nel modo che segue. Si prendono alcuni fogli di carta alquanto umidi come trovansi naturalmente in tempo piovoso, e da una parte s'incolla con gelatina, gomma od amido una sottilissima foglia di zinco o di stagno, e dall'altra si spalma con diligenza del perossido di manganese in polvere minutissima. Soprapposti nel medesimo ordine parecchi di questi fogli, con ferro a taglio circolare come quello col quale si tagliano le ostie calcando sopra queste carte se ne ricavano molte centinaja di dischi di due in tre centimetri di diametro i quali soprapposti sempre nel medesimo ordine vengono a formare una maniera di pila a colonna di centinaja ed anche di migliaia di coppie, le quali affinchè possano ben combaciare si premono prima fortemente insieme e poi si legano con cordoncini di seta che vanno da un capo all'altro, mantenuti da due dischetti metallici ivi appositamente collocati. Fatta la pila poi s'inviluppa in una camicia o rivestimento di materia coibente, o meglio si colloca in una canna di vetro con guerniture metalliche agli estremi, le quali comunicano co'poli della medesima.

Questa pila è più acconcia a dare elettricità statica che dinamica, ma sempre debole. I suoi poli attraggono i corpi leggieri ed appalesano evidente tensione con gli elettroscopi, ma le perdite non vengono prontamente riparate, sia per la poca virtù deferente della pila, sia per la lentezza con la quale svolge la sua elettricità.

Delezenne ne ha fatte delle molto grandi, ed ha potuto averne la scossa, la scintilla e la scomposizione dell'acqua.

FIG. 179.



Un pendolino, o meglio una maniera di ago metallico orizzontale collocato in tra i poli contrari di due di queste pile può continuamente oscillare, dandovi una specie di moto perpetuo.

Ma un'applicazione molto utile delle pile a secco fu fatta da Bohnenberger, per avere un elettroscopio assai sensibile il quale fa conoscere immediatamente la natura dell'elettricità. Immaginate un elettroscopio che invece di avere due foglie d'oro (*fig.* 179) ne abbia una sola collocata tra due pile a secco verticali poste entro la campana di vetro *b* in luogo delle lamine o colonnette di ottone degli elettroscopi comuni, e che si possano accostare ed allontanare

a piacimento. Queste due pile a secco abbiano i poli opposti di rincontro talchè una abbia il polo positivo sopra e l'altra il negativo (1). Allora è chiaro che accostando al conduttore fisso *a* un corpo debolmente elettrizzato, la foglia d'oro elettrizzandosi anch'essa sarà attratta da un polo e respinta dall'altro de'due tra'quali si trova, di modo che se essa abbia ricevuto o per influsso o per comunicazione elettricità positiva, correrà verso il polo superiore negativo allontanandosi dall'altro ch'è positivo, e così voi non solo conoscete l'esistenza ma anche la natura della elettricità indicata dallo strumento. Se a questo elettroscopio unirete il condensatore, avrete uno strumento acconcio ad indicarvi le più piccole tensioni. Potendosi poi, siccome di sopra è detto, accostare o allontanare le due pile, ne segue che si possa entro certi limiti far variare la sensibilità dello strumento. Quando la tensione elettrica che acquista la foglia d'oro è un poco forte, questa batte con impeto alternativamente contro i poli della pila i quali è bene che abbiano due lamine ben forbite e stropicciate con la carta de'battiloro, affinchè la foglia non aderisca a queste lamine e non si strappi.

Il Pouillet parlando di questo strumento dice, essergli sembrato sempre infedele a cagione delle agitazioni dell'aria interna della campana e della elettricità che l'aria riceve da'due poli. È vero che la foglia d'oro è presa talvolta da moti spontanei specialmente se lo strumento si trovi esposto a'raggi diretti del sole, ma in questi casi vi accorgete subito che tali moti non derivano da tensione della lamina, perocchè li vedete sussistere toccando con la mano il conduttore fisso; ma del resto se per tale ragione volesse il Pouillet dichiarare infedele l'elettroscopio di Bohnenberger, egli dovrà dire lo stesso di tutti gli strumenti ad aghi, perocchè avrà le mille volte veduto oscillare spontaneamente l'ago del galvanometro sotto l'azione de' raggi solari, o quando una lampada è stata per qualche tempo vicina alla campana del medesimo. Avviene lo stesso degli elettroscopî ad ago. Io dunque che mi sono giovato con profitto di questo strumento, di cui in certi casi non si potrebbe fare di meno, credo facile potersi mettere al coperto di qualche illusione, ma essere sommamente comodo a primo colpo d'occhio poter conoscere se la elettricità sia positiva o negativa.

Le pile a secco sebbene par che s'infievoliscano un poco dopo qualche tempo, pure conservano la loro efficacia per anni ed anni, nè so che alcuno le abbia ancora vedute per vecchiezza perire. Zamboni nè conservava alcune che avea fabbricate da 26 anni ed

(1) Io fo comunicare i poli inferiori tra loro per rendere più grande la tensione de' poli superiori.

erano in piena attività. Bagnando la carta con alcuni liquidi se ne fanno delle più energiche ma meno durevoli.

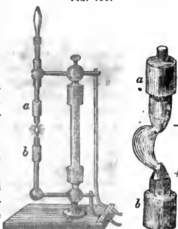
LEZIONE XI.

EFFETTI DELLA PILA.

Distingueremo gli effetti delle correnti in due ordini, 1° in quelli che le medesime generano ne' corpi attraverso de'quali passano, 2° ed in quelli che le correnti possono generare a distanza. Divideremo i primi in *fisici*, *chimici* e *fisiologici*, lasciando i meccanici che meglio si hanno da'coibenti armati, e distingueremo i secondi in *elettrodinamici* ed *elettromagnetici*.

Effetti fisici. La corrente elettrica svolge luce e calorico attraversando i corpi. La luce si ha generalmente nelle medesime congiunture in cui si ha la scintilla nella elettricità di attrito, ma in alcuni casi essa si ottiene molto più splendida e durevole, particolarmente quando passa per due coni di carbone. Il carbone di legna spento nel mercurio fu adoperato per molto tempo da'fisici, ma più acconcio e di migliore effetto riesce quel carbone durissimo che si cava dalle storte d'onde si estrae il gas delle pubbliche illuminazioni. Si prendono due verghette di carbone terminate a cono e si adattano in due ghiere metalliche *a* e *b* (*fig.* 180) collocate agli estremi di due conduttori sostenuti da una colonna di vetro. Mentre le due punte di carbone si toccano si fa passare attraverso di esse la corrente mercè i fili nella figura dinotati, tosto si vedrà nel punto di toccamento una luce abbagliante che, da prima molto ristretta, cresce poco dopo in volume; allora le due punte di carbone si allontanano per alcuni millimetri o anche per parecchi centimetri, se la pila è di gran forza, e si ha un dardo di luce vivissima pari a quella di centinaja di lampade. Nell'aria i carboni ardono a'loro estremi e conviene a poco a poco avvicinarli. Nel vuoto si consumano meno,

FIG. 180.



ma pure si logorano per trasporto di molecole generato dalla corrente, specialmente dal polo positivo al polo negativo.

Questa luce va soggetta a variazioni e può anche in un attimo sparire, se le punte logorandosi non si accostano. A mantenere la debita distanza tra i coni di carbone per un certo tempo ad onta del loro consumo, Foucault e Dubosque in Francia, e Steite in Inghilterra quasi nello stesso tempo idearono un apposito congegno la cui mercè con un buon numero di coppie alla Bunsen o alla Grove la luce si può sostenere per qualche ora quasi costante. La compiuta descrizione di questa lampada con tutte le figure in grandi dimensioni può vedersi in una relazione del Volpicelli all'Accademia Pontificia de'nuovi Lincei (1).

Questa luce ha potuto supplire quella del sole nel microscopio solare, il quale ha così preso il nome di microscopio *fotoelettrico* (2).

Il più grandioso esperimento della luce elettrica par che sia stato fatto in Francia dal Despretz con una pila alla Bunsen di 600 coppie nella quale l'arco luminoso era lungo 183 millimetri, vale a dire circa 3|4 di palmo napolitano!

Cotesti risultamenti fecer nascere la speranza di potere illuminare le grandi piazze con siffatta luce. Molte sperienze furono eseguite in Francia ed Inghilterra con tale intendimento, e posteriormente anche in Italia, ma si è costantemente notato che questa magnifica luce non può tenersi costante, e ad onta de'congegni dei quali di sopra è detto, ci ha talvolta il pericolo di sparire in un attimo. Si sostituirono al carbone altre sostanze non escluso il diamante, ma senza migliore riuscita, e pare che finora il carbone duro del quale è detto di sopra abbia la preferenza.

Per darvi un'idea della intensità di questa luce vi dirò che Bunsen con 48 delle sue coppie ebbe un arco luminoso di 7 millimetri con una luce pari a quella di 572 candele steariche. Fizeau e Foucault paragonando questa luce a quella del sole, trovarono che esprimendo la intensità di questa con 100 a mezzodì in un bel giorno di aprile, l'intensità di quella ottenuta con l'arco voltaico di una pila di 46 coppie alla Bunsen era espressa da 235. Questi valori sono per lo meno approssimativi, perocchè il metodo di misura usato da due fisici citati non dà dritto a conclusioni di molta esattezza.

(1) Atti dell'Accademia Pontificia de'nuovi Lincei anno IV, sessione del 23 marzo 1851.

(2) Usavasi già innanzi la luce che si ha dall'idrogeno e dall'ossigeno in contatto della calce, che abbiam veduta presso il professor Cassola da parecchi anni.

Relativamente alla spesa poi Grove afferma che la luce ottenuta con 50 coppie della sua pila pareggiando quella di 1444 fiamme di candele steariche, costerebbe franchi 2,50 all'ora, ed io credo che dovrebbe riuscire anche più costosa.

Non sarà difficile che un giorno questa luce possa essere applicata ad illuminare delle grandi strade, ma per ora ha troppe difficoltà da vincere (1).

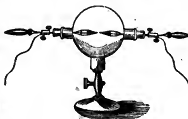
Volendo poi avere una prova della grande quantità di calorico che si svolge con l'arco voltaico, nella ghiera metallica *b* (*fig.* 181) che corrisponde al polo positivo della pila, si pone un pezzo di carbono slargato e concavo in vece del solito cono, entro questa concavità si pongono dei frammenti metallici a' quali accostata la punta di carbone che corrisponde all'altro polo, e fatta passare la corrente, in pochi minuti secondi questi saranno fusi. La luce in tal caso è tuttavia molto fulgida, ma prende diverso colore certamente pe' vapori metallici che seco trasporta. Il ferro e l'acciaro si fondono non solo ma ardono in presenza dell'aria e scagliano intorno numerose e sfolgoranti scintille pari a quelle che osservansi in alcuni fuochi di artifizio

FIG. 181.



Boussingault e De la Rive proposero di sostituire la luce elettrica che si può avere nel vuoto alla lampada di sicurezza del Davy (*fig.* 182)

FIG. 182.



Da tutto quello che di sopra è detto pare potersi concludere che l'arco luminoso debba reputarsi come un conduttore composto di materia attenuata ed incandescente, e però senza trasporto il fenomeno probabilmente mancherebbe, e De la Rive ha osservato essere la luce più intensa quando al polo positivo si trovi un corpo le cui molecole abbiano meno coerenza di quelle che formano l'estremo dell'altro reoforo. Così per esempio la luce è più viva quando al polo positivo ci sia la spugna di platino ed al negativo une

(1) Fra i congegni ordinati a mantenere i coni di carbone alla debita distanza, oltre quelli di sopra citati, merita di esser ricordato il *regolatore* di Deleuil di cui potete vedere la descrizione nell'eccellente manuale di Fisica di Ganot v. 2. Parigi 1852.

sfera di questo metallo. Onde pare impossibile avere la luce senza consumo de'reofori.

Il trasporto dal polo positivo al negativo è evidente, ma Van-Breda crede esservi anche trasporto per verso contrario, perocchè avendo egli pesato le due punte di carbone prima e dopo l'esperienza trovò che scemavano egualmente di peso.

La corrente elettrica poi svolge calorico ne'circuiti continui. Poche coppie di una qualunque pila a due liquidi sono più che sufficienti ed arroventare e fondere de'fili metallici corti e sottili, col fare il filo più grosso o più lungo si può avere solo l'arroventamento senza la fusione o un semplice aumento di temperatura. Se la corrente si faccia passare per un circuito composto di due diversi metalli, il peggiore conduttore è quello che si riscalda di più, ma il punto più caldo del circuito è sempre la saldatura. Peltier studiando cotesti fenomeni nè incontrò uno singolarissimo ch'è quello del freddo generato dalla corrente. Saldando insieme una verga di bismuto ad una di antimonio e facendo passare attraverso di esse una corrente non molto intensa, si vedrà riscaldarsi la saldatura quando la corrente è diretta dall'antimonio al bismuto, e per contro subire un raffreddamento quante volte la corrente passi dal bismuto all'antimonio. Quando la corrente è molto intensa il freddo nella saldatura non si ha più, ma invece elevazione di temperatura, sebbene più debole di quello che si ha quando la corrente va dall'antimonio al bismuto.

Peltier avea creduto potersi tenere come principio generale che nella saldatura si eccita freddo quando la corrente passa dal peggiore al miglior conduttore e caldo nell'opposto cammino, ma il professor Pacinotti ha trovato delle eccezioni a questa regola (1). Il freddo dunque generato dalla corrente è un fatto di cui non si sa dare una plausibile ragione.

È poi un fatto bene assicurato che congiungendo i poli della pila con un filo metallico che sia tra i peggiori conduttori, come per esempio con un filo di ferro, si vede questo arroventarsi solo verso il polo positivo. Con altre sperienze egualmente si dimostra la maggior potenza colorifica del polo positivo, ma non pare egualmente rifermato il fatto annunziato da Neef che la luce cioè si generi verso il polo negativo (2).

(1) Il Pacinotti ha trovato che la *corrente* voltaica genera freddo quando passa in una coppia metallica per quel verso secondo il quale passerebbe la corrente termoelettrica eccitata col riscaldare la unione dei due metalli. *v. appresso termoelettricismo.*

(2) Dalle sperienze di Joule, Becquerel e Botto risulta, che la quantità

Anche i liquidi si riscaldano per l'azione della corrente, ma per lo più scomponendosi dan luogo ad alcune anomalie.

La bella apparenza di luce che mostra un filo di platino rovente quando è percorso dalla corrente elettrica suggerì a Grove un'altra lampada di sicurezza consistente in una spirale di filo di platino collocata in un globo di cristallo e renduta incandescente dal passaggio della corrente elettrica.

Un'altra importante applicazione si è fatta già da parecchi anni della incandescenza e della fusione de'fili metallici per accendere le mine da una distanza grandissima, e per fare scoppiare delle bombe entro l'acqua. Immaginate che due fili metallici di mediocre grossezza penetrino entro una quantità di polvere da sparo a piccola distanza, ed un filo di platino, di ferro o di acciaro molto sottile ne congiunga gli estremi, è chiaro che se gli estremi opposti di cotesti fili si mettono in comunicazione con la pila, la corrente arroventando o fondendo il filo sottile accenderà la polvere. Ora è agevole intendere come de'fili sotterranei isolati mercè un invoglio di *gutta percha* possano essere acconci ad accendere le mine intorno ad una piazza in tempo di assedio, mercè l'uso della pila. In questi ultimi tempi si è applicata la corrente elettrica anche per uccidere in mare le balene (1).

Grove poi ha trovato che la spirale di platino con la stessa corrente ha diversa temperatura in diversi fluidi aeriformi, ed in pari tempo la corrente ha varia intensità. Quando il filo p: e. sta nell'idrogeno la temperatura è minima e la corrente è più copiosa.

Porret nel 1816 scoprì che l'elettrico ha la virtù di trasportare un liquido dal polo positivo al polo negativo, questo trasporto che alcuni fisici pongono tra gli effetti meccanici della corrente io lo pongo tra gli effetti fisici, perocchè esso è una vera *endosmosi* (2). Abbiasi dunque un recipiente di vetro diviso in due compartimenti da un corpo poroso, come per esempio da una membrana di vescica, ponendo dell'acqua in questi compartimenti e facendo pescare in uno il reoforo positivo nell'altro il negativo di una pila, si vedrà il liquido elevarsi nel secondo compartimento e deprimersi nel primo. Quando poi il liquido sia tale da essere chimicamente

di calorico svolto dalla corrente è proporzionale al quadrato della quantità di elettricità che passa, ed in ragione inversa della conducibilità del filo.

(1) V. l'opera intitolata: *Documents relatif a l'emploi de l'electricité pour mettre le feu aux fourneaux des mine, et à la demolition des navires sous l'eau. Paris.* 1841.

(2) V. Appresso la lezione sull'endosmosi.

scomposto allora, siccome ha osservato Napier, ci ha trasporto degli elementi scomposti ma non del liquido stesso.

Se per un filo di ferro teso come una corda si faccia passare una corrente elettrica discontinua ossia interrotta a brevi intervalli, si ha dal filo anzidetto un suono, il quale si avrà anche meglio distinto se la corrente passi per un'elica di filo di rame vestito di seta nel cui asse si trovi il filo anzidetto; e questo pare essere l'effetto del ripetuto calamitarsi e scalamitarsi del filo di ferro tanto se sia attraversato dalla corrente discontinua quanto se sia dalla medesima circondato. De la Rive ha osservato lo stesso fenomeno anche con altri metalli, ma meno intenso.

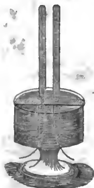
Della virtù poi della corrente di trasformare una parte del circuito in calamita o di eccitare magnetismo nel ferro che n'è circondato, discorreremo in proposito degli effetti elettromagnetici della corrente; qui vogliamo solo avvertire come l'elettrico possa dare alle molecole de'corpi un ordinamento diverso, il che maravigliosamente dimostrasi dal vedere che impartisce a' corpi diafani la virtù di far rotare il piano di polarizzazione della luce siccome in ottica si dirà. La caduta del fulmine sopra una campana ha talvolta prodotto una notevole alterazione nel suono della medesima.

LEZIONE XII.

EFFETTI CHIMICI DELLA PILA.

La corrente attraversando i liquidi li scompone. Alcuni corpi si scompongono con correnti molto deboli ed altri richiedono correnti molto energiche, ma in generale gli effetti chimici domandano molta tensione. Il primo fenomeno elettrochimico che si conobbe fu la scomposizione dell'acqua. Ecco come si fa comunemente questa esperienza. Si prende un bicchiere e per due buchi fatti nel fondo di esso (*fig.*183) s'introducono due fili di platino o anche due laminette del medesimo metallo; indi si pone in questo bicchiere dell'acqua leggiermente acidolata con alcune gocce di acido solforico e sopra i due fili di platino si capovolgono due piccole campane o cannelli di vetro chiusi da una parte, pieni del medesimo liquido. I due capi esteriori de'due fili di platino finalmente si mettono in comunicazione co' poli di una pila, si vedranno nel liquido intorno a'fili di platino

FIG. 183.



svolgersi numerose bolle aeree le quali ascendendo in cima delle campane e deprimendo l'acqua, a poco a poco le van riempendo, se non che la campana che corrisponde al polo positivo presenterà sempre il fluido aeriforme in volume minore dell' altra che corrisponde al polo negativo e propriamente questi volumi saranno tra loro come uno a due. Raccolta una sufficiente quantità di questi fluidi aeriformi e saggiati co' criteri chimici si trova che quello corrispondente al polo positivo è gas ossigeno, e l'altro che si è svolto sul polo negativo è gas idrogeno : l' acqua dunque si è scomposta ne' suoi elementi che sono appunto l' ossigeno e l'idrogeno.

Avendosi per ogni volume di ossigeno due volumi d'idrogeno, secondo la dottrina atomistica significa che per ogni atomo di ossigeno si hanno due atomi d'idrogeno (1). L'acido solforico dunque non si è scomposto, ma solamente l'acqua.

L'ossigeno che si riduce al polo positivo della pila si dice essere *elettronegativo*, e l'idrogeno che va al polo negativo si dice essere *elettropositivo*.

Lo strumento per la scomposizione dell'acqua si chiama *voltametro* o *voltaimetro*, i fili di platino o di altro metallo furono dal Faraday detti *elettrodi*, ed in ispecie *anodo* e *catodo*, sebbene i fisici usino più volontieri le espressioni *elettrodo positivo* ed *elettrodo negativo*. L'acqua o qualunque altro liquido che si scompone dalla corrente si denomina dallo stesso Faraday *elettrolito*, ed *elettrolisi* la scomposizione che si ha mercè la corrente elettrica.

Che se l' elettrodo positivo sia molto atto ad ossidarsi, allora l'ossigeno combinandosi con esso non si svolgerà in fluido aeriforme. Ed in tale congiuntura possono più cose intervenire. Se l'ossido è solubile nell'elettrolito, esso si scioglierà in ragione che si forma per comporre un sale di cui rappresenterà l'acido o la base; se è insolubile e conduttore, facendo esso stesso da elettrodo, l'elettrolisi potrà continuare, ma l'ossigeno almeno in parte, si svolgerà in fluido elastico; se da ultimo l'ossido è insolubile e coibente, l'elettrolisi si sospenderà, purchè la forza della corrente non valga a distaccare l'ossido in ragione che si viene generando.

Quando l'ossido entra in combinazione formando un sale, se questo è insolubile si precipita, ma se è solubile quasi sempre interviene che sia nuovamente scomposto.

Se l'acqua sia acidolata con acido cloroidrico o con altri somi-

(1) Pesati i due gas, i loro pesi ci dinoterebbero un equivalente di ossigeno ed un equivalente d'idrogeno.

glianti le cose passano diversamente, perocchè siffatti acidi sono scomposti dalla corrente insieme con l'acqua.

Se poi l'elettrodo negativo sia capace di combinarsi all'idrogeno, neppur questo si eleverà allo stato aeriforme, per una gran parte almeno.

Se per esempio un ossido faccia l'uffizio di elettrodo negativo, esso generalmente parlando sarà ridotto, perchè il suo ossigeno si unirà in combinazione con l'idrogeno nascente dalla scomposizione dell'acqua.

E se tra gli elementi dell'elettrolito ce ne sia alcuno che possa combinarsi con l'idrogeno, siffatta còmbinazione non mancherà di avverarsi. Così per esempio quando nel voltametro si ponga acqua acidolata con acido azotico, una parte dell'idrogeno nascente dalla scomposizione dell'acqua si unisce ad una parte dell'ossigeno dell'acido il quale resta trasformato in acido ipoazotico, siccome tra le altre cose è annunziato dalla colorazione del liquido e dal minor volume d'idrogeno che si raccoglie.

Abbiamo presa per esempio principalmente la elettrolisi dell'acqua, per esporre alcune vedute generali, ma dicemmo di sopra avere le correnti elettriche la virtù di scomporre tutt'i corpi liquidi. Supponeto dunque che l'elettrolito sia soluzione di solfato di rame o voi raccoglierete ossigeno allo stato aeriforme al polo positivo e rame puro al polo negativo. Il che avrebbe potuto avvenire per due modi, si può cioè supporre che la corrente cominci dallo scomporre il solfato di rame in acido solforico, che essendo elettro negativo va al polo positivo, ed ossido di rame elettro positivo che va al polo negativo, e che finalmente l'ossido di rame scomponendosi anch'esso l'ossigeno si deve svolgere sul polo positivo perchè elettro negativo ed il rame perchè elettropositivo si deve repristinare sul polo negativo. Ma più ragionevole e più conforme a'criterii della chimica è il supporre, che la corrente primitivamento scomponga l'acqua ne'suoi elementi ed il solfato di rame in acido solforico ed ossido di rame, e che l'idrogeno dell'acqua combinandosi all'ossigeno dell'ossido renda libero il rame il quale non sarebbe repristinato che per azione *secondaria* della corrente.

Legge degli equivalenti elettrochimici. Per intendere questa legge trovata dal Faraday supponete molti voltametri con acqua diversamente acida o alcalina. Ponendo separatamente ciascuno di questi voltametri in comunicazione co' poli di una pila a forza costante i in tempi eguali raccoglierete quantità di gas molto dissuguali. Ma se la stessa corrente passi simultaneamente per tutti codesti

voltametri, dopo un tempo qualunque, tutti mostreranno eguali quantità di fluidi aerei raccolti, vale a dire tutti avranno eguali quantità di ossigeno a'respettivi elettrodi positivi,ed eguali quantità d'idrogeno a'negativi, ossia in tutt'i voltametri sonosi scomposte eguali quantità di acqua.

Or fingiamo che questi diversi voltametri contengano diverse soluzioni saline, come, per esempio, di solfato di rame, di azotato di argento, di acetato di piombo ecc. ed uno contenga tuttavia acqua acidolata con $^1/_{1^0}$ o $^1/_{20}$ di acido solforico (1). In questo si avrà la scomposizione dell'acqua al passaggio della corrente, e negli altri generalmente si avrà ossigeno sull'elettrodo positivo e metallo repristinato all'elettrodo negativo, supponendo tutti gli elettrodi di platino. Fatta passare dunque per tutti questi voltametri per un certo tempo una medesima corrente, si trova prima di ogni altro che tutti gli elettroliti han dato eguali quantità di ossigeno, di cui si può determinare il peso. Tolti poi i metalli a ciascun elettrodo negativo e pesati con diligenza dopo di averli lavati ed asciugati, si trova che il peso dell'ossigeno sta a quello di ciascuno di questi metalli come 100, equivalente dell'ossigeno sta a ciascuno degli equivalenti rispettivi de'medesimi metalli. Questo è dunque il fatto scoperto dal Faraday che viene tradotto nella seguente legge: *Quando una stessa corrente attraversa una serie di elettroliti diversi, i pesi degli elementi che si separano sono tra loro come gli equivalenti chimici di questi.*

Ciò che abbiamo detto s'intende solo nel caso in cui si abbia il metallo tutto repristinato all'elettrodo negativo senza svolgimento d'idrogeno, e senza che si generi alcun ossido, perocchè alcuni metalli come il ferro, il manganese, il cobalto ec. nel deporsi sull'elettrodo negativo scompongono l'acqua più o meno copiosamente.Il che c'induce a pensare che nelle soluzioni de'sali di soda, di potassa, di barite ec., la scomposizione dell'acqua avvenga per un'azione secondaria, cioè per opera del metallo che si va repristinando. E per fermo quando il mercurio faccia l'ufficio di elettrodo negativo,alla superficie di questo si vede formarsi l'amalgama.

Difficile poi è trovare il modo onde la enunciata legge si applica a'metalloidi ed a'metalli ossigenati.Prendiamo ad esempio la serie azotica e supponiamo che la corrente separi il radicale ne' composti ad uno, a due, a tre ec. equivalenti di ossigeno, non è più possibile avere un equivalente di azoto da una parte ed un equi-

(1) Questo lo diremo col Pouillet *voltametro tipo.*

valente di ossigeno dall'altra. Conviene che la legge si avveri o per l'elemento olettropositivo o per l'elemento elettronegativo. Se la legge si avverasse per quest'ultimo, allora in ciascun voltametro si dovrebbe trovare un equivalente di ossigeno e poi un quinto di equivalente di azoto per l'acido azotico, un quarto per l'acido ipoazotico ec. E per contro se la leggo si avverasse per l'elemento elettropositivo cioè per l'azoto si dovrebbe avere in tutt'i voltometri un equivalente di azoto e poi cinque, quattro, tro ec., equivalenti di ossigeno.

L'acqua ossigenata parea che si prestasse meglio di ogni altro corpo a chiarire questa Incertezza, e però Edmondo Becquerel l'ha sottoposta alla prova o gli è sembrato di avere nel voltametro con acqua ossigenata due equivalenti di ossigeno per un solo equivalente di questo raccolto nel voltametro tipo. Ha veduto poi che l'idrogeno combinavasi in parte con l'ossigeno riproducendo acqua.

Venendo ora a'cloruri, a'bromuri ec., diciamo che ponendo in serie il voltametro tipo con due altri uno con acido cloroidrico concentrato ed un altro con una soluzione satura di cloruro di potassio o di sodio, si trova che l'acido cloroidrico è scomposto e non l'acqua che contiene,perocchè all'elettrodo negativo si ha svolgimento d'idrogeno ma all'elettrodo positivo non si osserva alcuna apparizione di fluido elastico: il cloro resta sciolto e non si combina all'ossigeno. Ma se l'acido fosse alquanto allungato e la corrente di bastante efficacia, si osserverebbe verso l'elettrodo positivo un mescuglio di cloro e di ossigeno. Gli stessi fenomeni si osserveranno nel voltametro col cloruro di sodio. Ma ne'tre voltametri le quantità d'igrogeno sono eguali, ne segue dunque che ad ogni equivalente di ossigeno corrisponde un equivalente di cloro. Ognuno intende che l'idrogeno che si ottiene nel voltametro col cloruro di sodio è il prodotto secondario dell'azione del sodio sull'acqua.

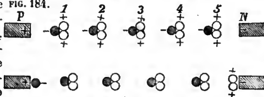
La elettrolisi de' cloruri multipli essendo più agevole di quella degli ossidi multipli, era importante sottoporre i primi alla prova per vedere se la legge appartenesse a'radicali o al cloro, per la qual cosa il Matteucci,e dopo il Becquerel figlio,hannotrovato che la legge la dà l'elemento elettronegativo,almeno pe'cloruri multipli di rame, ferro ed antimonio sopra i quali l'esperienze sono stato istituite.

Le sperienze finalmente fatte sugli acidi idrati e sopra i sali alcalini da Daniel e da Miller non sembrano ancora bastanti a rifermare la legge di sopra esposta, la quale verissima per tutt'i casi ri-

portati di sopra, si vorrebbe da alcuni fisici che fosse estesa a tutte le combinazioni chimiche per dirsi veramente generale.

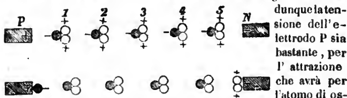
Tornando ora alla scomposizione dell'acqua, si può domandare prima di tutto, perchè si è aggiunto l'acido solforico. Si dice che l'acqua pura conducendo male le correnti diviene con alcune gocce d'acido solforico miglior conduttore, e si crede che per iscomporre l'acqua distillata ci vogliano correnti di fortissima tensione: non sarebbe per altro improbabile che l'acido facesse anche qualche altro uffizio, non per anco ben conosciuto, senza negare che valga ad accrescere la deferenza del liquido, essendo questo un fatto dalla esperienza pienamente dimostrato (1).

Se in due bicchieri contigui ponete acqua acidolata con acido solforico, e posto a cavalcioni sopra i loro orli un filo di platino che peschi nel liquido, immergerete nel primo di essi l'elettrodo positivo e nel secondo il negativo di una pila, i quali siano anche di platino, l'acqua si scomporrà in entrambi i bicchieri ed in ciascuno si avrà idrogeno ed ossigeno; ma se la comunicazione tra i due vasi sia fatta con un corpo umido, avviene talvolta che nel vase in cui pesca l'elettrodo positivo si raccoglie solo ossigeno e nell'altro solo idrogeno, il che farebbe credere che l'idrogeno abbia dovuto passare attraverso del corpo umido per andare al secondo vase e l'ossigeno abbia dovuto fare lo stesso per opposta direzione per ridursi al primo. Ora il Grotthuss ha data di questo fenomeno una ingegnosa spiegazione, la cui mercè par che si penetri nel magisterio molecolare de'corpi sottoposti all'azione della corrente. Supponete una serie di molecole aquee 1, 2, 3, 4, 5 ec. poste tra gli elettrodi P ed N di una pila (*fig.*184): se terrete per vero quello che d'altronde è sommamente probabile, come appresso vi dirò, che cioè ogni atomo abbia uno stato elettrico suo proprio o essenziale, potrete facilmente immaginare che un atomo di ossigeno elettronegativo si è combinato a due atomi d'idrogeno elettro positivi nel formare la molecola di acqua. Or l'elettrodo positivo P operando per influsso sulla molecola 1 la disporrà con l'atomo di ossigeno verso di se e co' due atomi d'idro-



(1) Per iscomporre l'acqua distillata del pari che alcuni altri liquidi poco deferenti E. Melly ha usato un metodo diverso dal consueto. Tenendo gli elettrodi uniti nell'acqua pura, se a quando a quando si distaccano, si vedrà nel liquido balenare la scintilla e l'acqua scomporsi. V. *Arch. de l'elettricité* t. I. 1841.

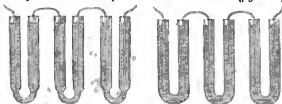
geno alla parte opposta, e questa molecola 1 operando a sua posta sull'altra 2 la disporrà nella stessa guisa, e così appresso. L'elettrodo negativo N dal canto suo tenderà a produrre il medesimo effetto, onde le molecole dovranno tutte ordinarsi nel modo dalla fig. dinotato. Se dunque la tensione dell'elettrodo P sia bastante, per l'attrazione che avrà per l'atomo di ossigeno e per la ripulsione per quei d'idrogeno, tirerà a se il primo della molecola 1 respingendo i secondi i quali già tendevano a tirarsi l'atomo di ossigeno della molecola 2 col quale combinandosi ora, mandan via i due atomi d'idrogeno di questa, i quali per la stessa ragione si combinano all'atomo di ossigeno della molecola 3, e così appresso, e tutto questo di accordo con l'azione dell'altro elettrodo che comincia adoperare sull'ultima molecola strappando alla medesima i due atomi d'idrogeno. Adunque per ogni atomo di ossigeno che si svolge al polo positivo, due d'idrogeno se ne debbono svolgere al polo negativo, e frattanto si compie una serie di scomposizioni e ricomposizioni intermedie, e così il passaggio della corrente altro veramente non sarebbe che un moto vibratorio eccitato nelle molecole della materia.



Ma dirà taluno se l'ossigeno è elettronegativo, perchè dopo che si è svolto sul polo positivo si mostra allo stato naturale? A me pare che la risposta sia facile, perocchè l'ossigeno prende lo stato naturale in contatto dell'elettrodo positivo, e però vedremo che quando poi deve entrare in combinazione con qualche corpo, svolge elettricità positiva. Dicasi lo stesso della elettricità positiva dell'idrogeno che si occulta mercè la negativa dell'elettrodo sul quale si manifesta.

Un fatto scoperto dal Pouillet potrebbe forse far sorgere qualche dubbio intorno alla dottrina di sopra esposta. Questo fisico si è per esperienza assicurato non essere in entrambi i poli eguale virtù di scomporre i corpi, cosicchè in alcune congiunture siffatta virtù par che risegga principalmente nel polo negativo ed in altre nel polo positivo. Ecco un modo di ordinare l'esperienza sul proposito. Si prendono tre o quattro cannelli di vetro (*fig.* 185): pie-

FIG. 185



gati in forma di U i quali abbiano un centimetro di diametro e l'altezza di un decimetro, posti l'un presso l'altro nel modo espresso della figura, si empiono del liquido sul quale si vuole sperimentare, e dentro ciascuna branca s'immerge un filo di platino che scenda fin verso la curvatura: il secondo di questi fili comunica col terzo ed il quarto col quinto, rimanendo liberi il primo e l'ultimo per metterli in comunicazione co' poli della pila. Quando il liquido è cattivo conduttore conviene che ciascun cannello abbia da per tutto il medesimo diametro e l'esperienza non riesce molto spiccata, ma quando il liquido è buon conduttore, la parte inferiore di ciascun cannello si può ridurre ad avere un millimetro di diametro, ed i risultamenti dell'esperienza saranno più manifesti. Se dunque in tutti codesti cannelli ci sia soluzione di cloruro d'oro e si faccia per essi passare la corrente elettrica, interponendo anche nel circuito un voltametro con acqua acidolata, si vedrà questo funzionare come al solito, ne'cannelli l'oro depositarsi sopra i fili negativi, e dopo qualche tempo, il cloro mostrarsi sopra i fili positivi, ma senza idrogeno intorno a' primi e senza ossigeno intorno a'secondi, il che dimostra che il cloruro solo è scomposto. Or dopo che il voltametro comune ha già raccolto un 10 centimetri cubici di gas ossigeno, sarà agevole il vedere come in tutte le branche negative de'cannelli ci sia minore coloramento che nelle positive, e saggiando il liquido in ciascuna branca si trova che la positiva contiene la stessa quantità di cloruro che prima dell'esperienza conteneva, in quello che la branca negativa ne ha perduto tanto per quanto corrisponde all'oro repristinato. D'onde l'Autore conchiude, il polo negativo essere stato solo efficace nella scomposizione del cloruro d'oro. Continuando la elettrolisi seguitano ad aversi i medesimi risultamenti, e solo quando l'operazione e sul finire cominciano a vedersi delle bolle d'idrogeno sopra i fili negativi, il che dimostra che l'acqua comincia a scomporsi, ed al fisico francese pare che anche in questa scomposizione la maggiore efficacia appartenga al polo negativo.

Quel che si è detto del cloruro d'oro deve dirsi eziandio de'cloruro di magnesio in cui ancor si ravvisa una certa maggiore efficacia del polo negativo, pure l'altro polo non si rimane dall'operare dal canto suo; ma co'cloruri di potassio di sodio ec., l'azione prevalente appartiene al polo positivo.

Questi fatti de'quali vorremmo moltiplicate le prove potrebbero per avventura far credere che il liquido stesso di una delle branche faccia da elettrodo siccome in alcune congiunture suole intervenire (1), senza cercare nel trasporto degli elementi un'altra ragione

(1) V. il Pouillet all'elettrochimica § 277 bis.

del medesimo fenomeno, e però non mi pare probabile, che anche nella elettrolisi dell'acqua si avveri una disparità di azione ne'due poli della pila.

Del resto il trasporto degli elementi della scomposizione attraverso del liquido è un fatto innegabile. Mettete l'una presso l'altra tre coppe di vetro, empite la prima di una soluzione salina e le due altre di acqua; fate che la prima comunichi con la seconda e questa con la terza mercè due piccoli sifoni pieni di acqua. Fate communicare il polo negativo della pila con la prima coppa ed il positivo con l'ultima, e vedrete in questa comparire l'acido il quale perciò ha dovuto traversare l'acqua della coppa di mezzo, ed intanto se quest'acqua fosse tinta con tornesole non si vedrebbe punto arrossire, ma sibbene quella della terza coppa. Che se poi nella coppa di mezzo si ponga invece della tintura di tornescle, una soluzione di ossido di barite, allora l'acido solforico darà segno di sua esistenza nella coppa intermedia formando un precipitato bianco ch'è il solfato insolubile di barite. Quì pare che l'elettrodo venga rappresentato dal liquido della seconda coppa. Io dunque penso che l'esperienze del Pouillet delle quali fu detto più sopra non menino di sicuro alla conclusione che questo illustre fisico ne cava.

La pila ha renduto di buon ora de' grandi servizi alla chimica. La potassa, la soda, la barite, la calce eran creduti corpi semplici e la pila per opera del Davy fece conoscere esser questi de' veri ossidi metallici. Avendo una pila di molta tensione si può facilmente eseguire la scomposizione della potassa. In un pezzo di questa sostanza collocato sopra una lamina di platino che comunichi col polo positivo della pila si faccia una piccola cavità nella quale si pongano alcune gocce di mercurio; toccando questo con un filo di platino che viene dal polo negativo, si vedrà il mercurio a poco a poco perdere la sua fluidità e trasformarsi in amalgama, alla superficie della quale si forma una pellicola bianca ch'è potassa ricomposta, ossia ossido di potassio fatto a spese dell'ossigeno dell'aria. Gettando quest'amalgama nell'acqua il mercurio ritorna liquido perchè il potassio si ossida nuovamente con l'ossigeno dell'acqua che scompone, onde si ha svolgimento di gas idrogeno e la potassa resta sciolta nell'acqua. Se invece di toccare il mercurio col polo negativo si tocchi la potassa allora il potassio come si separa dall'ossigeno si ossida nuovamente a contatto dell'aria percui si hanno scintille molto brillanti.

Essendo il potassio, il sodio, il bario ec. metalli molto facili ad ossidarsi, ne segue che quando i loro composti sono sciolti nell'acqua e si fanno attraversare dalla corrente, il metallo non si ottiene libero al polo negativo, ma allo stato di ossido è l'apparizione di questo è

accompagnata da svolgimento di gas idrogeno, e ciò perchè il metallo nel repristinarsi si ossida scomponendo l'acqua, onde l'ossido e l'idrogeno sono prodotti secondarî.

In generale poi l'elettrolisi si ha o che i corpi siano fusi, o che siano sciolti nell'acqua.

Vi descriverò in ultimo un fatto curioso scoperto dal Dottor Seebeck di Iena, quantunque non siasene ben definita la origine. I chimici sanno che il gas ammoniaco è composto d'idrogeno ed azoto; questo gas ha tutte le proprietà degli ossidi e però forma dei sali. Preso dunque un pezzo di sale ammoniaco ossia d'idroclorato di ammoniaca e fattavi sopra una piccola cavità nella quale si versa qualche goccia di mercurio, si ponga sopra una lamina di platino che comunichi col polo positivo di una pila di molta forza nell'atto che il reoforo negativo si fa communicare col mercurio; allora questo liquido si gonfia ossia aumenta di volume prendendo l'aspetto di un'amalgama. Se menate quest'amalgama nell'acqua avrete fenomeni somiglianti a quelli avuti con l' amalgama di potassio della quale di sopra è detto, cioè ritorno del mercurio allo stato liquido, svolgimento d'idrogeno , ed ammoniaca sciolta nell'acqua, Il mercurio secondo l'esperienze di Gay-Lussac e Thenard assorbe in tale congiuntura 3,47 volte il suo volume d'idrogeno , e 4,32 volte il suo volume di gas ammoniaco. Il medesimo fenomeno si ha con tutt'i sali di ammoniaca.

Si può tenere per fermo che i prodotti della elettrolisi ottenuti in tempi eguali siano proporzionali alle quantità di elettricità che sono passate per l'elettrolito, e però l'acqua pura potendo render nullo o debolissimo il passaggio di molte correnti non si scompone, e si scompone poi in maggior copia se rendesi più deferente con l'aggiunta dell'acido solforico.

Il voltametro perciò può dare la misura della quantità di corrente che passa per esso, ma non la misura della forza assoluta della pila, ed anche in questo caso conviene usare il medesimo voltametro o voltametri perfettamente eguali e simili, perchè le misure siano comparabili, perocchè poste tutte le altre cose eguali se fate variare la grossezza degli elettrodi o anche la forma, facendoli per esempio a fili o a lamine, avrete diversi prodotti. Quando la pila è debole conviene che gli elettrodi siano fili di piccolo diametro se volete avere la scomposizione dell'acqua, perocchè se fate uso di lamine avrete minore effetto, e potete anche non averne alcuno se coteste lamine siano alquanto larghe.

Dalle cose finora discorse s'intende da quali fatti il Berzelius fu condotto a porre la teorica elettrochimica delle affinità, per la quale si crede che gli atomi e le molecole de' corpi godano di un' elet-

tricità opposta a quella del polo verso del quale si riducono , e quindi deriva che questi stati elettrici opposti determinano le combinazioni, la cui mercè le contrarie elettricità si occultano, e la luce ed il calore che si manifestano nelle combinazioni chimiche non dinoterebbero altro che il neutralizzarsi delle opposte elettricità dei componenti delle combinazioni medesime, giacchè nell'arco voltaico le due elettricità che si ricompongono svolgono del pari calorico è luce.

Si sono mosse contro siffatta dottrina non poche obbiezioni, alcune delle quali le ho sempre credute di niun peso, ma altre possano meritare di esser prese in disamina. Si dice p. e. come mai è possibile che un corpo possa nello stesso tempo considerarsi come elettropositivo ed elettronegativo? E pure nella dottrina di cui si parla un medesimo corpo può funzionare in un composto còme corpo elettronegativo ed in un altro come corpo elettropositivo. Questa obbiezione che nella dottrina delle due elettricità è di grave momento, non ha alcun valore nella dottrina che pone una sola elettricità, perocchè in questa non si tratta che di stati elettrici che differiscono tra loro solo per gradi e quindi è naturalissima cosa il pensare che un corpo sia elettropositivo per rispetto ad uno ed elettronegativo per rispetto ad un altro, richiedendosi solo un minimo ed un massimo, cioè due corpi unipolari l'uno che sempre si diriga al polo positivo perchè sempre elettronegativo quale è appunto l'ossigeno, e l'altro che sia sempre elettropositivo.

Conviene confessare poi che non si sa dare ragione dopo tutto questo della coesione delle molecole similari tra loro e di qualche altro fenomeno somigliante, ma questa nostra ignoranza non ci autorizza a negare la dottrina in quistione: del rimanente torneremo sopra questo argomento in proposito della teorica della pila, ed allora vi dirò tutto il mio pensiere, ribattendo qualche altra obbiezione.

Il Berzelius ordinò tutt'i corpi semplici secondo le loro tendenze elettriche, e quindi secondo il grado della respettiva loro affinità, in modo che ciascun corpo preso nella serie è elettronegativo per rispetto a quelli che lo seguono ed elettropositivo per rispetto a quelli che lo precedono, e la loro affinità è più grande quando sono più lontani tra loro. L'ossigeno , il cloro , il iodo, ec. sono in principio della serie, il sodio ed il potassio alla fine.

Stimo quasi superfluo il dirvi che se la corrente scompone i liquidi pe' quali passa, scompone eziandio quelli che sono nelle cellule della pila, e però se in queste sia acqua acidolata con acido solforico, l'ossigeno correrà verso il metallo più elettropositivo quale è per esempio lo zinco per rispetto al rame o al platino.

Quindi se il rame solo messo nell'acqua acidolata deve rappresentare un corpo elettropositivo e quindi ossidarsi, congiunto allo zinco rappresenterà un corpo elettronegativo ed attirerà a se l'idrogeno agevolando la ossidazione dello zinco. Così dunque il Davy pensò a liberare il rame, onde son foderate le navi, dalla ossidazione, saldando alla lamina di rame una zona di zinco. L'effetto di preservare il rame dalla corrosione si ebbe, ma s'incorse in un altro inciampo, perocchè il rame rappresentando un corpo elettronegativo attirava a se i corpi elettropositivi e quindi si facea sul medesimo un deposito di calce, magnesia, ec. che rendevano la nave poco veloce al corso, onde il trovato rimase solo per le navi che debbono stare in porto e fu abbandonato per quelle che debbono solcare le onde. Oggi noi daremmo ragione del fatto del Davy alquanto diversamente, come potrete vedere allorchè parleremo della teorica della pila.

Corrente secondaria. Se mercè due fili o lamine di platino facciamo passare una corrente attraverso una soluzione salina, e dopo interrotto il circuito congiungeremo gli anzidetti fili o lamine co' capi del galvanometro, vedremo passare una corrente diretta per verso contrario di quella della pila, vale a dire che ora la corrente uscirà per quel filo percui prima entrava; questa corrente è detta *secondaria*, ed i fili o lamine che sieno, dicesi che hanno acquistata la *polarità secondaria;* or queste polarità doveano generare una opposizione alla corrente primaria quando passava pel medesimo circuito, e quindi deve fare lo stesso negli elementi della pila i quali pur debbono col passaggio della corrente primaria nello stesso modo *polarizzarsi*, siccome sogliono dire i fisici. Non è poi necessario per avere la corrente secondaria che le lamine o i fili di platino restino nello stesso liquido in cui erano quando passava la corrente primaria; possono immergersi in un altro diverso e dare i medesimi risultamenti. La corrente secondaria si può avere con pile anche di pochissima forza. La ragione di questa corrente si trova supponendo che sull'elettrodo positivo resti fissata o aderente una parte del corpo elettronegativo e sull'elettrodo negativo una parte del corpo elettropositivo, percui cessata la corrente primaria questi due corpi si riuniscono di nuovo e danno luogo ad una corrente che va per verso contrario, giacchè si tiene per fermo dalla maggior parte de' fisici, che nelle combinazioni chimiche ci sia svolgimento di elettricità con questa legge, che i corpi elettropositivi svolgono elettricità negativa, e per contro gli elettronegativi elettricità positiva, e tra poco vi mostrerò, almeno secondo io mi penso, come si possa dare facile ragione di questa maniera di paradosso. Per ora intenderete come la corrente secondaria

debba a poco a poco sparire. Da ciò potete intendere la ragione della corrente della pila secondaria del Ritter che trovasi descritta quasi in tutte le opere elementari di fisica.

Ferro passivo. Il ferro in certi casi diviene incapace ad essere intaccato dagli acidi ossigenati e specialmente dall'acido azotico quasi fosse divenuto platino, ed in questo stato dicesi che ha acquistato la passività. Sehoenbcin riehiamò non ha guari l'attenzione de' fisici sopra questo fatto singolare e trovò parecehie maniere di rendere il ferro passivo (1). Se per esempio un filo di ferro abbia fatto da elettrodo positivo ad una pila di mezzana efficacia rimanendo per la lunghezza di un centimetro immerso in una soluzione di acetato di piombo per circa 30', si troverà di essere diventato passivo, e perde siffatta passività se venga toccato in un liquido con l'elettrodo negativo.

Albero di Saturno. Si empia un fiasco di vetro di soluzione satura di acetato di piombo, dopo aver preparato un turacciolo di sughero che ne chiuda perfettamente l'orifizio: in questo turacciolo s'infilzan quattro o cinque fili di ottone i quali entro il fiasco si slarghino per rappresentare un cono, e vadano fino al fondo di esso: sotto al turacciolo di sughero finalmente si ponga un pezzo di zinco legato agli anzidetti fili mercè una corda o filo di ottone molto sottile, in modo che anche lo zinco peschi nel liquido. Ciò posto, lutato l'orifizio, si conservi la boccia in disparte. Dopo alcuni giorni si cominceranno a vedere de'piccoli e splendidi cristallucci di piombo aderanti a'fili di ottone, da prima nella parte di sopra e poi man mano anche verso il fondo del fiasco, e dopo alcune settimane coteste laminette si soprappongono, si moltiplicano e s'intralciano in mille svariate guise da prendere un aspetto singolare. Era questa un'antica esperienza di cui la elettrochimica ha potuto dare ragione, ravvisando nell'albero di Saturno una lenta elettrolisi operata da una coppia.

LEZIONE XIII.

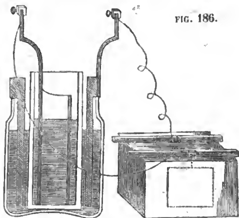
VARIE APPLICAZIONI DEGLI EFFETTI CHIMICI DELLA PILA.

Galvanoplastica. — Abbiamo veduto altrove come la corrente repristini i metalli attraversando le soluzioni de' loro sali; ora in molte congiunture il metallo represtinandosi verso l'elettrodo negativo vi si depone in una falda compatta e ben coerente, e però se questo elettrodo rappresenti un incavo, distaccando il metallo che

(1) *Archives de l'electricité* 1842, t. II e III.

vi si è deposto sopra se ne caverà un rillevo, e per contro si otterrà un incavo se sull'elettrodo eravi un rilievo. Ecco il ragionamento col quale Jacobi in Russia e Spencer in Inghilterra furono guidati a poter dare copie fedeli rilevate di figure incise, ed incise di figure rilevate, ed a questa nuova maniera di poter fare dei bassorilievi senza fusione od altro, o di riprodurre delle incisioni, fu dal Jacobi dato il nome di *galvonoplastica*. Il sale metallico che meglio si presta alle operazioni galvonoplastiche è il solfato di rame.

Immaginate dunque che i due elettrodi di una pila di poca forza, una coppia di Bunsen per esempio, vadano a pescare in un vase (*fig.* 186) in cui sia soluzione satura di solfato di rame, e che l'elettrodo positivo termini in una lamina di rame ed il negativo in una medaglia del medesimo metallo coperta per metà di cera, ossia con una sola faccia scoperta, allora il rame nascente dalla scomposizione del solfato, lentamento deponendosi sulla parte scoperta della medaglia, a capo di alcune ore vi avrà acquistata una certa grossezza da poterne essere distaccato, per darvi una copia in incavo la più precisa del rilievo della faccia della medaglia sulla quale era applicato. Se questa copia in incavo la collocherete, in un secondo esperimento, in luogo della medaglia avrete un *fac simile* del rilievo della medesima. Se non aveste coperta di cera o altra somigliante materia la medaglia che abbiam supposto rappresentare l'oggetto da copiare, il rame l'avrebbe inviluppata intorno intorno e non avrebbesi potuto separare.


FIG. 186.

Se la corrente fosse troppo forte, il rame mancherebbe di coesione, ed all'elettrodo negativo insieme col rame apparirebbe l'idrogeno, ed il soverchio acido della soluzione ossiderebbe il rame.

Ecco perchè importa mantenere neutra e satura la soluzione, il che si ottiene naturalmente quando l'elettrodo positivo sia rappresentato da una lamina di rame perchè questa prima si ossida e poi

si combina all'acido solforico formando solfato di rame che sostituisce quello che si è scomposto mantenendo così satura e neutra la soluzione, la quale quando non è satura, l'idrogeno che svolgesi in abbondanza sull'elettrodo negativo impedisce alle molecole del rame di aderire tra loro. Quando l'operazione va bene voi vedete il rame unito, di un color rosso vivo, e non nericcio ed incoerente; ecco perchè a quando a quando la forma o stampa si tira fuori del bagno e si osserva per assicurarsi se l'operazione procede in regola.

Talvolta per ben provvedere alla saturazione si pone nel bagno un sacchetto pieno di solfato di rame. Si consiglia pure d'immergere nel bagno prima la stampa o modello e poi l'elettrodo positivo. I grandi modelli vanno collocati orizzontalmente affinchè il rame si deponga con maggiore uniformità.

Abbiamo da prima supposto che si ponesse nel bagno una medaglia di cui voleasi fare una copia, ma se voi aveste impressa questa medaglia in un pezzo di piombo, questo avrebbe potuto fare l'uffizio di modello e risparmiarvi anche un'operazione. Ecco perchè volendo copiare un rilievo per esempio, giova aver il modello preciso del medesimo in incavo: e questi modelli si fanno d'una lega (1) fusibile ad una temperatura inferiore a quella dell'ebollizione; si fanno anche di gesso bene asperso di piombagine in polvere impalpabile per renderne deferente la superficie, di stearina rivestita di foglie di argento ec.

Alcuni sogliono usare l'argentatura per le forme di gesso, tenendole cioè per qualche tempo in una soluzione di nitrato di argento e poi esponendole a' vapori che si svolgono scaldando una soluzione di fosforo nell'acquavite o nella trementina. La superficie della forma divien nera, ed allora è ricoperta da un velo di argento ridotto.

Per tal modo si sono fatte delle statue di rame con modelli di gesso; si pensò di riprodurre le forme de' cadaveri, di conservare oggetti di storia naturale ec. e si potè ridurre ad incisione un disegno fatto col daguerrotipo sotto del quale, dicea il Grove, si avrebbe dovuto scrivere, *la luce disegnò, l'elettrico incise.*

Troverete sopra questo argomento degli appositi manuali che vi daranno tutte le regole necessarie per bene addestrarvi in questo genere di operazioni, ma se si tratta di una semplice sperienza per uso di scuola il metodo più spedito è il seguente. In un grosso bicchiere ponete acqua acidolata con circa $^1/_{10}$ di acido solforico, dentro questo liquido ponete un sacco di vescica con entro solu-

(1) Composta di 8 parti di bismuto 3 di stagno e 5 di piombo.

zione satura di solfato di rame; prendete poi una lamina di zinco amalgamato e ponetela nell'acqua acidola, ponendo la forma nella soluzione di solfato di rame; e fate da ultimo comunicare tra loro lo zinco con la forma mercè un filo o lamina di rame, ed avrete così una coppia di cui un elemento è la forma. In tal modo la soluzione si manterrà neutra perchè l'acido solforico va continuamente verso lo zinco, e solo dovete badare a mantenerla satura rifondendo spesso nuovi cristalli di solfato di rame.

Doratura elettrochimica. — Se in una delle consuete sperienze di galvanoplastica ritirate dal bagno la forma dopo pochi momenti da che vi fu immersa, voi la vedrete coperta di un velo tenuissimo di rame, di modo che vi parrebbe dipinta in rosso; essa si potrebbe dire *arramita*. Or se invece del rame sia l'oro che si precipita sopra un metallo qualunque mercè la elettrolisi di un sale aurico, il detto metallo sarà dorato.

Il nostro Brugnatelli come si ricava da una sua lettera del 1803 dorava già con questo metodo giovandosi dell'ammoniuro d'oro, ma dopo la invenzione della galvanoplastica Augusto de La Rive e poi Elkingtont e Ruolz ritornarono sopra questo subbietto quasi dimenticato, e crearono l'arte della doratura elettrochimica che si è felicemente sostituita all'altra della doratura a fuoco tanto nociva alla salute degli artefici.

Il processo della doratura in sostanza non differisce da quello della galvanoplastica, se non che la forma qui è l'oggetto che si vuole dorare, ed il bagno deve contenere sciolto un sale d'oro. Il liquido o soluzione aurea si suol preparare in diversi modi tutti raccomandati da' loro autori. Walker consiglia di sciogliere due once di cianuro di potassio in un litro di acqua piovana o distillata calda cui si aggiunge un quarto d'oncia di ossido d'oro (1); generalmente il bagno si compone di 1gr di cloruro d'oro per ogni 100gr di acqua e 10gr di cianuro di potassio, ma altri danno altre ricette, sempre però è mestieri che nella soluzione ci sia un alcali che impedisca l'ossidazione del metallo che comunica col polo negativo.

Preparato dunque il pezzo metallico da dorare, cioè forbito con ogni diligenza, si pone nel bagno in comunicazione col polo negativo di rincontro ad una lamina d'oro che comunica col polo positivo.

Ci ha poi delle regole per dare alla doratura un diverso colore, le quali troverete descritte nelle opere pratiche sopra cotesto argomento alle quali è mestieri che ricorra chi voglia esercitarsi in questo genere di operazioni.

(1) V. il suo manuale della galvanoplastica ch'è voltato in italiano con note del Giovannetti.

Quello che abbiamo detto per la doratura vale anche per la inargentatura usando il cianuro di argento col cianuro di potassio.

S'intende ora come partendo da'medesimi principi si giunge a deporre un metallo sopra di un altro e si ha così il *platinare*, il *zincare* ec.

Il ferro ricoperto di zinco dicesi *galvanizzato* e si preserva dalla ossidazione.

Si son fatti de'tentativi per separare con la corrente elettrica i metalli da'minerali che li contengono, ma finora pare che la spesa sia superiore a quella che si richiede operando co' metodi consueti.

Metallocromia. Diede il Nobili questo nome all'arte di colorire i metalli mercè la corrente elettrica. Nel fondo di un vase di vetro o di porcellana ponsi una lamina metallica che può essere di platino, di acciaro, di argento, di ottone ec., alla quale è saldato un filo di rame.

Questa lamina si copre con soluzione di acetato di piombo il cui livello si elevi sulla lamina per poche linee: nel liquido s'immerge un filo di platino sottile che resti alla distanza di mezza linea appena dalla lamina. Allora se questa si faccia comunicare col polo positivo ed il filo di platino col polo negativo di una pila di 3 o 4 coppie alla Bunsen, si vedranno dopo pochi secondi apparire sulla lamina diversi anelli vagamente colorati, i colori sono tanto più vivi per quanto più levigata è la lamina. Con più punte si hanno più anelli da serbare quell'ordine che si vuole (*fig.* 187). Se invece di acetato di piombo si adoperi acetato di rame gli anelli si hanno sulla lamina che comunica col polo negativo, e si ha un cerchio nero in mezzo poi uno giallo indi uno di rame puro e così appresso (1).

FIG. 187.



Questi colori disgraziatamente hanno poca durata esposti all'aria. La ragione di siffatti colori s'intenderà ponendo che un velo di ossido o di metallo repristinato si formi sulle lamine metalliche per l'azion chimica della corrente sul liquido. Becquerel è riuscito con altri liquidi modificando il metodo del Nobili ad avere colori, meno belli forse, ma più durevoli, perchè procedenti da ossidi che non si alterano in presenza dell'aria.

(1) V. Le memorie del Nobili.

LEZIONE XIV.

EFFETTI FISIOLOGICI DELLE CORRENTI.

I primi fenomeni che si ebbero della pila furono appunto gli effetti fisiologici, anzi questi dettero, siccome si disse, occasione perchè la pila s'inventasse, ciò non dimeno convien dire che la teorica de'medesimi non è ancora molto avvanzata.

Abbiamo veduto come le correnti attraversando alcuni corpi presentano fenomeni fisici e nòn chimici, ed attraversandone altri, che sono i liquidi, manifestano in preferenza fenomeni chimici; or quando passano attraverso i corpi organizzati i fenomeni fisici sono scarsi o nulli sussistono generalmente i chimici, e se ne appalesano altri che diconsi fisiologici, così l'elettrico opera diversamente secondo le diverse condizioni nelle quali la materia si trova.

Poco sappiamo intorno all'azione della elettricità sulle piante, ed i fatti annunziati da' vecchi fisici o non sussistono, o rientrano nella serie de' fenomeni chimici. E per fermo fatta passare per molte ore la corrente elettrica attraverso de'semi bagnati d'una soluzione leggiermente carica di solfato di potassa, vedrete germinare prima e meglio quelli che corrispondono al polo negativo ; ma questo fenomeno solo indirettamente deriva dalla elettricità, cioè in quanto essa scompone il solfato di potassa, perocchè l'alcali che va verso il polo negativo agevola la germinazione de'semi, in quello che l'acido che si riduce (1) verso il polo positivo la contraria. E di tutto questo potete rendervi certi ponendo a germinare i semi in due tazze distinte in una delle quali ci sia acqua con un poco di potassa e nell' altra acqua con una goccia di acido solforico. Un poco più di acido impedisce del tutto a'semi di germinare.

Si sa che messo il fusto della *chara* nel microscopio solare si veggono de'globetti verdi animati da un moto continuo di circolazione che si compie nello spazio compreso tra due nodi o diaframmi del fusto medesimo. Or Becquerel e Dutrochet hanno osservato che il moto di questi globoli sotto l'azione della corrente s'infievolisce o si estingue, pronto a ricominciare se la corrente finisce, il che fa aperto non cessare cosiffatto moto per alterazione cagionata dall'elettrico sugli organi della pianta. E sotto l'azione di correnti deboli bello è il vedere un pugnar manifesto tra la

(1) Cioè va : la voce *riduce* qui non è presa nel senso de' chimici, ma del dizionario.

ignota cagione che muove i globoli e la corrente che fa impeto in essi per arrestarli ; onde si veggono andare più lenti, indi per alcun poco fermarsi e poi rianimati riprendere il loro cammino.

Sulla *mimosa pudica* finalmente e sulla *sensitiva* la elettricità statica e dinamica opera come qualsivoglia altro stimolo.

Ma molto più numerosi e svariati sono i fenomeni che si hanno per le correnti che attraversano gli organi degli animali. Cominceremo ad operare da prima sopra i nervi e sopra i muscoli degli animali vivi o morti di fresco.

Animali vivi. — Seguiamo la guida del Matteucci che dopo il Nobili ed il Marianini ha fatto molti lavori sopra questo argomento riserbandoci alcune osservazioni che ricaviamo dalle nostre sperienze. Leghiamo un coniglio sopra una tavola con le sue quattro gambe e scopriamo il nervo sciatico in ambo le cosce separandolo per quando più si possa dalle parti circostanti, indi asciugato con carta bibula ponghiamo di sotto al medesimo una striscia di seta verniciata (*taffettà*). Applichiamo i reofori di una pila sopra uno di questi nervi alla distanza di due o tre centimetri. sicchè la corrente passi secondo il corso del nervo, cioè dal tronco verso i rami, nel quale caso dicesi *diretta*,ed a questo primo chiudere del circuito i muscoli della coscia si contraggono, l'animale grida, incurva il dorso ed agita gli orecchi.

Dopo un breve intervallo pare che l'animale non avverta nuova molestia , ma se interromperemo il circuito i medesimi fenomeni appariranno. Non dissimili sono gli effetti della corrente *inversa*, cioè diretta da'rami al tronco. Ma se la corrente attraversa il nervo invece di percorrerlo secondo la sua lunghezza, gli anzidetti fenomaneheranno.

Sperimentando sopra molti individui , specialmente se la corrente non sia molto forte si osserva che generalmente i segni di dolore sono più frequenti e spiccati al cominciare della corrente inversa e le contrazioni più forti al finire di questa. E per contro se la corrente è diretta si nota più vigore nelle contrazioni al suo principiare, e più intenso il dolore al finire.

Se continuiamo a sperimentare sullo stesso animale siffatti fenomeni spariranno e solo possono riaversi dopo un certo tempo , o pure accrescendo la forza della corrente.

Ma prima di giungere a quest'ultimo stadio, ci vien fatto di osservare che al cominciare della corrente diretta si ha contrazione ne'muscoli inferiori e nulla o quasi nulla in quelli del dorso,e senza manifesti segni di dolore,i quali invece si hanno al finire di questa medesima corrente, e per contro gli anzidetti fenomeni di contrazioni de'muscoli del dorso accompagnati da grido dell'animale si

hanno al cominciamento della corrente inversa, nell'atto che alla fine di questa si ha quello stesso che abbiam notato al principio della corrente diretta.

È mestieri dunque distinguere due periodi nell'azione della corrente sopra i nervi. Nel primo l'eccitamento nervoso non solo si diffonde verso i rami ma va ancora verso la parte centrale per riverberare sugli altri nervi e muscoli che eccita, e tanto nel cominciare quanto nel finire, sia della corrente diretta, sia della inversa, con quelle piccole differenze di sopra notate: nel secondo poi l'eccitamento si diffonde verso le diramazioni del nervo al cominciare della corrente diretta ed al finire della corrente inversa, e per contro verso il cervello al cominciare di questa ed al finire di quella. Il Matteucci esprime questo risultamento col dire, che *la corrente opera secondo la sua direzione quando comincia a passare pel nervo, e per verso contrario quando finisce.*

Se poi tagliamo ad un coniglio la midolla spinale e facciamo passare la corrente pel nervo crurale, le contrazioni che si aveano in tutt'i muscoli del dorso si limiteranno a quelli che si trovano di sotto del taglio, cosicchè se la midolla spinale sia tagliata verso la sua estremità inferiore, non si avranno più contrazioni ne'muscoli che sono superiori al nervo eccitato, ma solo in quelli ne' quali il nervo si dirama.

Le contrazioni dunque de'muscoli che si trovano di sopra del nervo eccitato si reputano *moti riflessi*, ossia si considera l' eccitamento come propagato fino alla midolla spinale e da questa riverberato sopra i nervi che partono da essa e vanno a diramarsi ne'muscoli del dorso.

La corrente continua quantunque non avvertita dall'animale, pure dopo un certo tempo toglie alle membra la virtù di contrarsi, anzi pare che il prolungato passaggio della corrente diretta generi sull'animale vivo paralisi di moto e quello della inversa paralisi di senso.

Secondo le sperienze del Valli quando i muscoli han cessato di contrarsi all'azione della corrente per essere stati soverchiamente sottoposti alla medesima, si possono sullo stesso animale e con la stessa corrente aversi nuove contrazioni operando sopra porzioni del nervo più lontano dal cervello ovvero più prossime agli estremi, per rispetto a quella sulla quale si era da prima operato.

Ed il Matteucci assicura intervenire il contrario delle sensazioni, e delle contrazioni de'muscoli superiori che si hanno al principiare della corrente inversa, in ragione cioè che la sensibilità s' illanguidisce i mestieri accostarsi verso il cervello per averne nuovamente i segni.

Animali morti.—Mancando in questi i segni del dolore si hanno le sole contrazioni. Si può operare sopra molti animali, ma bastano le rane preparate al modo del Galvani o come costui dicea, *de more paratae*. Facendo passare la corrente pe' nervi crurali che restano a nudo e separati da tutte le parti circostanti, s'incontrano eziandio due periodi il primo in cui non si avverte differenza sensibile tra il principio e la fine delle due direzioni della corrente, specialmente se questa sia di una certa intensità ed il secondo in cui i muscoli informati dal nervo sul quale si opera si contraggono solo al principio della corrente diretta ed alla fine della corrente inversa. Quando la corrente è forte e l'animale è morto di fresco, e non gli sia stata tagliata la spina, si hanno talvolta segni evidenti di moti riflessi (1).

I medesimi fenomeni si hanno se la corrente invece di percorrere una porzione di un nervo che si dirama ne' muscoli passi da quello a questi o da questi a quello, siccome potete vedere con una rana nella quale facciate passare la corrente da' nervi crurali a' muscoli delle coscie ovvero per opposta direzione.

Non dissimili effetti si hanno se la corrente entri ed esca pe' muscoli attraversando per un tratto esclusivamente il nervo. E veramente se dopo aver preparata una rana secondo il costume, dislocandole le ossa del bacino, fate che ciascuna coscia resti pel suo nervo legata ad una parte della spina, e poi messa a cavalcioni sopra due tazze con entro un poco di acqua, immergete i due reofori (*fig.* 188) di una pila in queste, è chiaro che per una coscia e pel nervo corrispondente passerà la corrente diretta, e per l'altra la inversa: e bene, voi arrivando al secondo periodo vedrete che al chiudere il circuito patirà contrazioni solo la coscia per cui passa la corrente diretta ed all'aprirlo, ossia interrompendolo, questa rimane immobile e si contraggono solo i muscoli di quella per cui passava la corrente inversa. E quest'ultima è sembrato a me patire contrazioni un poco più forti e ne' muscoli della gamba, nell'atto che le contrazioni dell'altra in sul finire par che si limitino a' muscoli della coscia e siano più deboli.

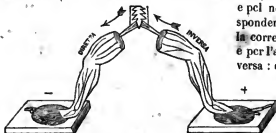


FIG. 188.

(1) Matteucci, *Phenamenes electrophysiologique des animaux*. Paris 1844

Ma se voi non distaccate le cosce nel punto in cui si congiungono, la corrente non sarà costretta a percorrere per un certo tratto esclusivamente i nervi, ma percorrerà un circuito animale tutto misto, e per la maggiore deferenza de' muscoli per rispetto a' nervi passerà maggiormente per quelli; onde non è maraviglia se le contrazioni riescono molto deboli e con una piccolissima coppia anche nulle siccome ho più volte osservato. Ma io ho anche veduto qualche fenomeno sul quale chiamo l'attenzione degli elettrofisiologisti, perchè non ancora da loro avvertito. Preparate la rana, e senza slogare le ossa o, se vi piace, anche senza toglierle le vertebre lombari , ponetela a cavalcioni sopra due bicchieri con entro un poco di acqua leggiermente acida o salata, sicchè in ciascuno de' bicchieri stia un piede immerso nel liquido e poi immergendo un reoforo nel primo ed un altro nel secondo, vedrete da prima, specialmente se la corrente non sia molto forte , contrazioni in entrambi le cosce solo al chiudere del circuito e non mai all'aprirlo ossia nella interruzione, e le contrazioni pare che siano anche più vigorose nella coscia per cui passa la corrente inversa , ma seguitando a chiudere e ad interrompere il circuito verrà un momento in cui vedrete contrarsi solo i muscoli di questa e non più quelli dell'altra. La pila con la quale ho fatto queste sperienze consisteva in una o due piccole coppie alla Bagration composte di zinco amalgamato e rame entro bicchierini pieni di terra bagnata con acqua acidola. Se la corrente è più forte bisogna aspettare che passi un periodo antecedente in cui potete avere contrazioni anche interrompendo il circuito.



FIG. 189.

Sperimentando poi sulla rana viva ed intera ho anche notato qualche cosa di nuovo. Legati i quattro piedi della medesima a quattro piuoli di legno posti a' quattro angoli di un rettangolo, ho scoperto i muscoli delle gambe in due punti *a* e *b* (*fig.* 189) togliendo due piccole porzioni della pelle. Sopra queste parti scoperte ho applicati i reofori della pila di cui di sopra è detto, ed ho notato le contrazioni solo chiudendo il circuito e non mai interrompendolo, siffatte con-

trazioni si sono manifestate solo ne' muscoli delle cosce e non in quelli del dorso; in essa cioè non sonosi avuti segni di moti riflessi che qualche rara volta e più o meno dubbi; interrompendo spesso spesso il circuito per un certo tempo ho notato pervenirsi ad un punto in cui si manifesta una differenza tra le contrazioni dei muscoli delle due cosce posti superiormente all' applicazione dei reofori, ma la parte della gamba messa di sotto al punto di applicazione del reoforo nella coscia percorsa dalla corrente diretta, e specialmente il piede, patire ancora vivaci contrazioni quando i muscoli superiori più non davano segno del passaggio della corrente. Fatta riposare la rana le contrazioni ricompariscono in tutti i muscoli delle cosce, ma sempre il piede corrispondente alla coscia per la quale passa la corrente diretta, e sottoposto come si disse al punto di applicazione del reoforo negativo patisce più spiccati movimenti, i quali sembrano non solo in intensità, ma eziandio per l' indole loro diversi da quelli dell'altro piede il quale par che si contragga solo debolmente un poco nel mentre il primo vibra forte e distendendo ed allargando le dita.

In generale poi quando si giunge al secondo periodo, tanto sugli animali vivi quanto sopra i morti, si possono far rinascere i fenomeni del primo periodo usando correnti di maggiore tensione.

Se si faccia passare la corrente elettrica per le fibre muscolari prive per quanto è possibile di nervi, si è trovato da Humboldt e da altri, tra quali il Matteucci, esser queste contratte ne' due momenti della chiusura e della interruzione del circuito, e più nel primo che nel secondo caso, ma a me sembra dietro le osservazioni sopra riferite doversi anche per la fibra muscolare distinguere due periodi il primo ch'è quello notato dal Matteucci ed il secondo in cui il muscolo si contrae solo al cominciare e non al finire della corrente, e per la inversa più che per la diretta, e così si dà ragione dei fatti de' quali testè vi parlai.

Alternative voltaiche. — Riprendiamo la rana della *fig.* 188 e dopo di averla fatta attraversare per un certo tempo da una corrente continua, o anche ripetutamente interrotta, vedrete che più non si contrae sia chiudendo sia interrompendo il circuito, ma o che in-

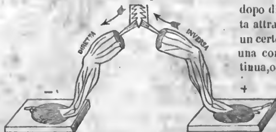


FIG. 188.

vertiate la rana, o che invertiate la corrente, sicchè questa percorra le stesse membra per opposta direzione, le contrazioni ritorneranno ad apparire con le leggi consuete, ma dureranno meno; e quando saranno di nuovo sparite le vedrete rinascere rimettendo le cose come prima, affinchè la corrente passi di nuovo come la prima volta passava, e così potrete seguitare per più fiate fino a che poi ogni eccitabilità sia spenta, almeno relativamente alla forza di questa corrente, chè con correnti più vigorose potreste forse destare nuovi convellimenti. La corrente dunque ha la virtù di ridestare la eccitabilità sopita o distrutta che sia dalla sua azione prolungata per un verso, se venga ad operare per verso contrario.

Il Marianini ha trovato che il numero delle alternative possibili è minore operando con correnti più intense, e ciò pare che sia la conseguenza di un altro fatto conosciuto, che cioè la corrente col suo passaggio scemi l'eccitabilità de' nervi, il che si prova dividendo per metà una rana preparata al modo di Galvani (*fig.* 190) ed assoggettando una metà al passaggio della corrente, quando questa più non si convelle, se si vada a sperimentare sull'altra metà si vedranno destare in questa contrazioni sensibili.

FIG. 190



Sugli animali vivi poi, secondo il fisico citato, le alternative pur si hanno, ma riduconsi ad un indebolimento e ad un rinvigorimento dell'azione della corrente. Ancora nell'animale vivo non è mestieri invertire la corrente per veder rinascere le contrazioni muscolari, ma basta lasciare per qualche tempo l'animale in riposo.

I fenomeni delle alternative voltaiche si hanno eziandio operando sopra i soli nervi della rana senza interporre anche i muscoli nel circuito, e procedono con le medesime leggi.

Il nervo percorso dalla corrente diretta è quello che più presto perde la sua eccitabilità (1) per rispetto ad un altro percorso dalla corrente inversa.

La corrente continua poi toglie a' nervi la virtù di eccitarsi, più lentamente che la discontinua la quale irrigidisce le membra della rana dando loro tutte le apparenze del tetano, e pare che la corrente discontinua ed alternativa, cioè che va ora per un verso ed ora per verso contrario, sia anche più efficace a rendere la rana incapace a subire nuovi convellimenti.

Legatura del nervo. Legando un nervo ad un animale vivo o an-

(1) V. l'opera del Matteucci più sopra citata.

che di fresco ucciso si sa che irritandolo di sopra della legatura cioè verso il cervello,non si contraggono i muscoli che trovansi di sotto della medesima, ma se l'animale è vivo dà segni di dolore, e per contro stimolando il nervo di sotto la legatura,i muscoli inferiori fortemente si contraggono senza segni di sofferenza se l' animale è vivo. Ora stimolando il nervo con la corrente elettrica Matteucci ha avuto i medesimi risultamenti. Ma se uno de' reofori si applichi sopra e l'altro sotto la legatura i fenomeni si hanno come al solito e solamente alquanto più deboli.

Veleni.— Il Matteucci, dopo l'Humboldt ed altri, ha studiato l'azione de' veleni per rispetto alla eccitabilità de' nervi ed ha confermata l'osservazione del naturalista prussiano il quale trovò che le rane morte per aver respirato l'acido carbonico, l'azoto, il cloro, l'idrogeno solforato, si convellono sotto l'azione delle correnti del pari di quelle uccise col ferro nel modo consueto. Il veleno che più toglie a' nervi la virtù di esser suscettivi a generare contrazioni ne' muscoli mercè il passaggio della corrente è l'acido idrocianico, cui tengon dietro l'idrosolforico, ec. e si nota che quando la corrente che percorre i nervi più non sveglia contrazioni muscolari pure può manifestarne ancora se passa per nervi e muscoli o solo pe' muscoli.

Nell'opera del Matteucci citata di sopra troverete descritte le diverse fasi che presenta la rana avvelenata co' veleni narcotici quali sono l'oppio,la noce vomica ec.,i quali alla fine anche tolgono ai nervi la virtù di eccitamento per la corrente, la quale però vale nel momento in cui la rana soffre i fenomeni tetanici prodotti dal veleno a rammorbidire e rilasciare i muscoli.

L'animale ucciso dalla scarica elettrica è incapace a convellersi per l'azione della corrente; la morte naturale nell'uomo dà al cadavere la stessa incapacità.

Poco si sa di preciso intorno all'azione della corrente sul cervello. Il Matteucci afferma di non aver notato alcun fenomeno introducendo i reofori di una pila nella polpa cerebrale di animali vivi, ma giungendo a' corpi quadrigemini, alle radici del cervello, alla midolla allungata,avere avuti convellimenti assai forti in tutto il corpo e segni di dolore. Cotesti fenomeni con minore efficacia durano a circuito chiuso e non si rinnovano alla interruzione del medesimo.

Dell'azione della corrente sopra i nervi de' sensi anche poche cose conosciamo. Ponete in comunicazione co' poli di una pila di poca forza l'occhio e la lingua e vedrete un lampicello,provando in pari tempo un sapore. Se la comunicazione de' poli sia alla lingua ed all'orecchio proverete anche una sensazione di suono, la quale

si può eziandio avere introducendo i reofori della pila ne' meati auditivi, badando per altro a non abusare di quest'ultima esperienza, specialmente se la corrente abbia una certa tensione.

Matteucci e Longet fecero delle sperienze per conoscere l'azione della corrente elettrica su fasci della midolla spinale e sulle radici de' nervi, e trovarono che esaurito il primo periodo ch'è il consueto, operando tanto sulle radici quanto sopra i fasci motori, le contrazioni si hanno al cominciare della corrente inversa ed al finire della corrente diretta, vale a dire con legge opposta a quella dei nervi misti. Nulla si osserva sulle radici sensitive.

Siam debitori all'Humboldt delle poche cognizioni che abbiamo intorno all'azione della corrente elettrica sopra i nervi del sistema ganglionare.

Facendo passare la corrente attraverso al cuore di un animale di fresco ucciso, si veggono rinascere i suoi moti e durare per qualche tempo dopo cessata l'azione della corrente. Anche il moto vermicolare delle intestina è rianimato dal passaggio della corrente ; e da qualche sperienza fatta sopra questo subbietto ho ragione di credere che la corrente che passa secondo il corso delle intestina vi aumenta il moto peristaltico, ed invece lo contraria o eccita l'antiperistaltico quando segue l'opposta direzione, vale a dire quando proceda dall'ano alla bocca.

Dalle cose dette si vede non solo come la corrente operi diversamente sopra i nervi misti , sopra quelli di moto e sopra quelli di senso , nonchè sopra i muscoli , ma quando più spiccata sia la differenza tra il modo di operare della corrente tra i nervi della vita di *relazione*, come li dicono, e quelli della vita organica, perocchè in quelli l'azione si manifesta specialmente nel cominciare o nel finire, in questi nel tempo del passaggio ed anche alcun tempo dopo che abbia cessato. Da ciò per altro non si deve concludere che ne' primi il passaggio della corrente continua sia assolutamente senza effetto, perocchè abbiam veduto come modifica la eccitabilità de' nervi , e come questa modificazione duri anche per qualche tempo fino a che pel vigore della vita le cose non tornino allo stato primiero.

La differenza poi tra la corrente continua e la interrotta con frequenza nel modificare la eccitabilità de' nervi sta in questo, che operando nel primo modo questa s' infievolisce o si spegne più tardi che nel secondo , e però che il Masson vide il primo per tal modo morire gatti o conigli come presi da tetano. Notiamo poi col Matteucci, le correnti più forti essere capaci di eccitare più vigorose contrazioni ne' muscoli, ma trovarsi un termine oltre del quale correnti dissuguali debbono generare contrazioni eguali.

Il Matteucci ricava da' fatti esposti alcune conclusioni generali che potrete vedere nelle sue opere, ma io le tralascio volontieri perchè mi penso doversi ancor molto studiare sopra questo difficile ed importante argomento. Dice per esempio il chiaro professore pisano che la corrente inversa aumenta la eccitabilità de' nervi e la diretta la indebolisce, e questo principio gli serve a dar ragione delle alternative voltaiche. Ma io ho presa una mezza rana preparata al modo di galvani (*fig.*190) e l'ho assoggettata al passaggio della

FIG. 190.



corrente inversa continua, e quando alla interruzione del circuito si avevano deboli contrazioni ho invertito la corrente e le contrazioni si sono avute vigorose al chiudere del circuito ed anche debolissime alla interruzione, e mi è accaduto dopo alcune alternative di veder sussistere ancora le contrazioni al cominciare della corrente diretta e mancare quelle che si aveano al finire della corrente inversa. La corrente che hò usata in tale congiuntura proveniva da una sola coppia alla Grove. Io mi propongo di ritornare sopra queste investigazioni, ma dico solo non sembrarmi del tutto evidente la virtù della corrente inversa di accrescere la eccitabilità de' nervi, e pare piuttosto potersi concludere la corrente inversa tendere a restituire a' nervi ciocchè è stato lor tolto dalla corrente diretta, e questa tendere a restituire ciocchè fu tolto da quella, il che darebbe ragione delle alternative voltaiche.

Riconosciamo poi col Matteucci alcune differenze tra l'azione della corrente sopra i nervi e quella degli altri stimoli; e per fermo,

1° Solo la corrente può secondo il verso per cui opera generare sensazione o contrazione;

2° Attraversando il nervo secondo il suo diametro non lo eccita.

3° Solo la corrente non è avvertita mentre passa in modo continuo pe' nervi.

4° Essa sola eccita il nervo quando finisce di percorrerlo.

5° La sola corrente restituisce al nervo la eccitabilità che gli avea tolta passando per verso contrario.

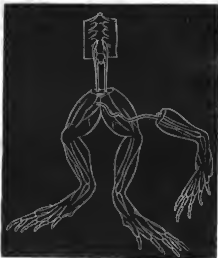
6° La corrente elettrica finalmente gode fra tutti gli altri stimoli la virtù di potere eccitare i nervi per più lungo tempo.

Vuolsi finalmente avvertire che in parecchie congiunture la corrente opera come ogni altro stimolo, come quando opera sopra i nervi de' sensi, sopra le parti centrali del sistema nervoso, sul gran simpatico ec.

Ciò premesso eccovi alcune considerazioni generali che io vi presento sopra questo argomento cotanto oscuro ed intralciato.

1.° La fibra muscolare pare che sia di sua natura contrattile sotto l'azione della corrente, ma si contrae anche senza che questa la percorra, sol che una porzione del nervo che si ramifica nel muscolo sia percorsa dalla medesima: il nervo dunque trasmette al muscolo un impulso dinamico simile a quello che gli darebbe la corrente stessa che percorresse le fibre del medesimo. Or questo impulso che il nervo eccitato trasmette al muscolo somiglia ad una scarica, ossia pare come se il muscolo fosse percorso esso stesso dalla corrente. E veramente, preparate una rana alla solita maniera (*fig.* 191) e poi preparandone un'altra scoprite il nervo crurale togliendo i muscoli ad una parte di una coscia e prendete una sola gamba di questa seconda rana col lungo nervo sporgente; situato questo sopra i muscoli di una delle cosce della rana preparata secondo il costume, e toccando co' reofori di una pila due punti dei nervi lombari scoperti di questa, osservcrete nel momento in cui i suoi muscoli si contraggono contrarsi anche i muscoli della gamba della seconda rana il cui nervo crurale è appoggiato sopra i muscoli della prima. Or cotesti convellimenti della gamba della seconda rana suppongono una corrente che dai muscoli della prima passi ne' nervi della seconda, e pure que' muscoli non sono nel circuito, dunque il nervo eccitato in un punto diffonde per le sue diramazioni un impulso dinamico a' muscoli che informa o identico o simile ad una scarica elettrica. E cotesto fenomeno si ha non solo eccitando il nervo della prima rana con la corrente elettrica, ma eziandio con qualsiasi altro stimolo capace di generare convellimento ne' muscoli. Se sopra i muscoli della prima rana si ponga una lamina coibente o una foglia metallica il fenomeno del quale si parla svanisce, perocchè nel primo caso la scarica non può passare da' mu-

FIG. 191.



scoli della prima rana al nervo crurale della seconda, e nel secondo caso la scarica passerà pel miglior conduttore ch'è il metallo.

Questa bella esperienza del Matteucci non deve confondersi con un'altra più antica dell'Humboldt. Se si soprappongono i nervi crurali appartenenti alle due cosce di una rana (*fig.* 192) e per uno di questi nervi si faccia passare la corrente in modo che la intersezione stia nel circuito, si avranno le contrazioni anche nell'altra gamba, ma se i reofori si applichino in *a* ed *a'*, o in *b* *b'*, le contrazioni si avranno solo ne' muscoli della gamba alla quale corrisponde il nervo eccitato. Si vede dunque che il fenomeno osservato dal celebre naturalista prussiano deriva dalla corrente che invade il secondo nervo posto nel circuito.

FIG. 192.



3 La fibra muscolare si contrae meglio nel momento in cui la corrente la invade che in quello in cui l'abbandona, e secondo le mie sperienze le contrazioni sono più efficaci per la corrente inversa che per la diretta, d'altra banda l'impeto che il nervo eccitato diffonde sia verso i centri sia verso i muscoli è ancor doppio cioè al principio ed alla fine di ciascuna corrente, e se il nervo è solamente motore, è al finire della corrente diretta ch' esso contrae meglio i muscoli, quando cioè subisce un eccitamento inverso; e però ne' nervi misti all'impeto della corrente diretta deve succedere un riverbero per la parte sensitiva o per altro modo dipendente dalla conformazione sconosciuta del nervo, per cui avviene che al principio della corrente diretta le fibre muscolari soffrono un impeto opposto; ma la legge par che si dovesse vedere ne' nervi motori, e poi cercare perchè essa venga modificata ne' nervi misti.

3. Le contrazioni che si hanno dalla corrente che passa solo pei muscoli sono più deboli di quelle che si generano ne' medesimi quando la corrente passa ne' nervi, i quali perciò debbono in loro stessi possedere una virtù che, destata dalla corrente, contrae i muscoli più di quello ch' essa sola farebbe passando per le fibre di questi.

Ci gioveremo di queste considerazioni nel trattare degli usi terapeutici della elettricità, quando avremo imparato a conoscere altri strumenti de' quali potremo giovarci.

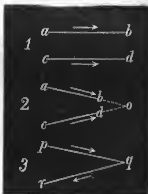
LEZIONE XV.

EFFETTI ELETTRODINAMICI DELLE CORRENTI — AZIONI DELLE CORRENTI TRA LORO.

Oersted, siccome altrove fu detto, scoprì il primo fatto di elettro-magnetismo, ma fu il celebre Ampère che scoprì l'azione scambievole delle correnti tra loro e che legò ad un medesimo principio anche l'elettromagnetismo, nella sua opera tanto stimata che pubblicò nel 1826 (1). Noi non possiamo seguire l'Autore con le sue formole, ma ci contenteremo di sostituire al matematico il linguaggio logico, bastante a farci intendere le principali verità tra le moltissime che si possono dedurre da un solo principio che sta a fondamento di tutta la teorica.

Il principio del quale parliamo può compendiosamente essere enunciato così: *Due correnti che vanno per lo stesso verso si attraggono, e se vanno per versi contrari si repellono.* Così per esempio tra le due correnti parallele *a b*, *c d* (*fig.*193) ci deve essere attrazione del pari che tra le due convergenti, n. 2.; ma tra le due altre *pq*, *qr*, n. 3., vi deve essere repulsione: onde se due correnti fanno angolo, si attraggono o quando entrambi vanno verso il vertice o entrambi ne partono, ma se una va verso il vertice e l'altra ne parte, si repellono; per cui passando per un filo metallico piegato ad angolo la corrente *pqr*, questo tenderebbe a raddrizzarsi per la scambievole ripulsione de' due lati dell'angolo (2).

FIG. 193



Cotesta attrazione e ripulsione

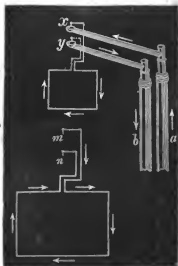
(1) Theorie des phénomènes electrodynamiques ec. Paris 1826.

(2) Nè dopo raddrizzato il filo,cesserebbe l'azione scambievole delle diverse parti della corrente,perocchè Ampère suppone che tutte le parti contigue di un medesimo circuito mutuamente si repellono, e ci ha un'esperienza che in qualche modo sorregge quest'assunto che nell'opera dell'illustre autore ha grande importanza ; ma farebbe mestieri averne qualche altra meno dubbia , perocchè la repulsione tra le parti contigue di un medesimo filo percorso dalla corrente e galleggiante sul mercurio non rimane al coperto di tutte le obbiezioni.Del rimanente,per noi che non possiamo tener dietro alle formole matematiche,quest'assunto ha poca importanza.

scambievole delle correnti tra loro si può per mille modi rendere aperta, ma conviene che le correnti possano liberamente muoversi. E poichè non possono aversi correnti senza conduttori o reofori, così quando parliamo di attrazioni e repulsioni tra correnti, dovremmo veramente dire tra reofori o fili metallici pe' quali passano correnti.

Senza dirvi come Ampère riuscisse a rendere mobili alcune parti di un circuito, volgete per ora uno sguardo alla figura 194, perchè possiate avere una prova sperimentale del principio del quale di sopra è detto. Sopra una tavola di legno figuratevi impiantate due colonne metalliche a e b le quali abbiano due traverse orizzontali terminate in due piccole coppe x y con entro un poco di mercurio. S' abbia poi un filo di rame piegato nel modo espresso dalla figura, terminato agli estremi in due punte di acciaro m n che siano nella stessa verticale: questo filo di rame si sospende alle coppe x y mercè le punte. Allora se la colonna a comunichi col polo positivo e l'altra b col polo negativo di una pila di quantità piucchè di tensione, la corrente circolando secondo la direzione delle frecce, una parte del circuito rappresentata dal filo di rame potrà liberamente muoversi intorno all' asse verticale che passa per le punte. Ora accostando ad uno de' lati del rettangolo un filo di rame per lo quale passi una corrente, voi potrete vedere avverata l'attrazione o la repulsione secondo il principio di sopra espresso.

FIG. 194.



La macchina con la quale si fanno coteste sperienze ha il nome di *apparecchio elettrodinamico*. Essa ebbe tra le mani del suo inventore alcune modificazioni per le quali andò migliorandosi, ma io l'ho ridotta anche più semplice e chiara, senza toglierle alcuna delle sue parti essenziali. Ne acquisterete l' idea man mano, e meglio poi vedendola in azione. In essa il principio sopra esposto si dimostra eziandio in altri modi diversi da quello che abbiamo indicato.

Volgetevi per esempio alla fig. 195 ed immaginate due colonnne metalliche *c c* verticali piantate sulla tavola A B orizzontale. Le colonne sono terminate in *i i* da due piccole coppe con entro un poco di mercurio nel quale pescano due punte di acciaro messe agli estremi di un filo di rame il quale si ripiega in *n q r p*, mantenuto da un'asticella coibente *n p*. Sulla stessa tavola poi sorge verticale un telaio rettangolare di legno circondato da una striscia di rame vestita di seta la quale fa cinque o sei giri intorno al medesimo, ed i cui capi sono congiunti a due pinzette metalliche *f* o *g* collocate sulla stessa tavola; e questo dicesi *telaio* o *rettangolo moltiplicatore*. Nel mezzo dell' asticella *n p* si può mettere un piccolo contrappeso che mantenga il rettangolo *n q r p* deviato dalla verticale, sicchè il lato *q r* resti parallelo ma ad una certa distanza dal lato superiore *l k* del telaio moltiplicatore. Ciò posto, supponete che la corrente ascenda per la colonna *c* che avete a destra e percorra il filo secondo il cammino *p r q n* discendendo per l'altra colonna a sinistra; indi per un conduttore ch'è sulla tavola entri in *g* e percorra le circonvoluzioni della striscia di rame secondo la direzione *h k l m* e finalmente per *f* se ne vada all'altro polo della pila, è chiaro che per *r q* e *k l* passeranno due correnti che vanno per lo stesso verso, onde vedrete il lato *r q* del rettangolo *n r* attratto dall'altro *k l* del telaio moltiplicatore. Levando poi il contrappeso messo nel mezzo dell'asticella *n p* onde il rettangolo *n r* si disponga verticale e quindi *r q* si accosti a *h l*, ed invertendo nel telaio la corrente nel modo che appresso diremo, vale a dire facendo che vada secondo *m l k h*, si vedrà il rettangolo abbandonare la verticale, ossia il lato *r q* essere respinto da *l k*.

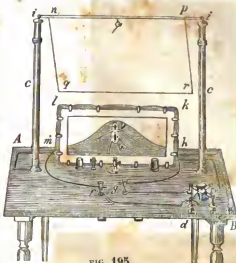


FIG. 195.

Quando due correnti non sono parallele, possono trovarsi nel medesimo piano o in piani diversi, nel primo caso il *punto d'intersezione* è quello in cui o realmente s' incontrano o prolungate

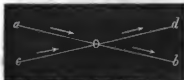


FIG. 193.

s'incontrerebbero, nel secondo caso per punto d'intersezione s'intende qualunque punto della linea che rappresenta la più corta distanza tra le direzioni delle due correnti.

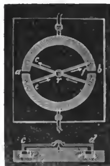
Si dice poi *corrente terminata* quella che non oltrepassa la intersezione, *indefinita* quella che la oltrepassa. Così le correnti *ab* e *cd* (fig. 193 n. 2) sono terminate del pari che le altre *pq* ed *rq*, n. 3. perocchè non oltrepassano i punti d'intersezione *o* e *q*. Le correnti poi *ab* e *cd* (*fig*.196) sono entrambi indefinite perchè entrambi oltrepassano il punto *o* d'intersezione.

FIG. 196.



Or dal principio fondamentale di sopra esposto segue che due correnti rettilinee indefinite mobili tendono a ridursi parallele e dirette per lo stesso verso. Imperocchè nell'angolo *aoc*, le correnti andando entrambi verso il vertice si attraggono del pari che nell'altro *bod* in cui entrambi partono dal vertice; e per contro negli altri due angoli *aod*, *cob* si ha ripulsione tra le correnti, perchè in ciascuno di essi una va verso il vertice e l'altra ne parte, onde s'intende come dovendosi ridurre nulli i due primi e pari a due retti ciascuno dei due altri, debbano le due correnti ridursi parallele e dirette per lo stesso verso.

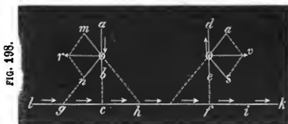
FIG. 197.



Per verificare con l'esperienza questo corollario del principio di sopra espresso si può fare uso di diversi congegni, tra' quali va quello dinotato della fig. 197. Sopra una tavola di legno sono incavati due canaletti semicircolari separati in *a* e *b* da due lamine coibenti. Sta nel centro una punta di acciaro sulla quale poggia a cappelletto un ago di rame mobilissimo *cd* i cui estremi sono piegati in giù e sono di ferro da poter pescare nel mercurio di cui son pieni i canaletti semicircolari: alquanto più sotto trovasi un altro ago *ef* che si fa muovere a mano ed i cui estremi pescano anche nel mercurio de' canaletti. Ciascuno de' canaletti fi-

nalmente comunica con una pozzetta x, y piena anche di mercurio. È chiaro che facendo comunicare la pozzetta x col polo positivo di una pila di quantità e l'altra y col polo negativo della medesima, la corrente percorrerà i due aghi anzidetti, e l'ago mobile roterà per disporsi parallelo all'altro cui si può dare a mano qualunque giacitura.

Azione di una corrente rettilinea indefinita fissa sopra una corrente rettilinea terminata mobile perpendicolare alla medesima. La corrente terminata potrà avere due direzioni, o vien verso la corrente indefinita o se ne allontana (*fig.*198), la dirò *discendente* nel



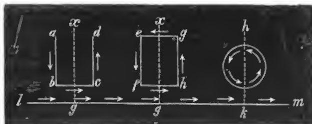
primo caso *ascendente* nel secondo. Sia dunque lk la corrente indefinita fissa ed ab la terminata che suppongo in prima discendente, è chiaro che nell'angolo acl ci ha attrazione e nell' altro adiacente ripulsione: dinoti dunque og la direzione della risultante di tutte le forze attrattive tra' punti delle correnti lk ed ab, ed on la intensità di questa risultante: così pure oh la direzione ed om la intensità della risultante di tutte le azioni repulsive che si hanno nell'angolo adiacente, e pel parallelogrammo delle forze si avrà la risultante finale $r\,o$ la quale tirerà la corrente ab da o verso r e sarà parallela alla corrente fissa; sicchè la corrente terminata dovrebbe correre parallelamente a se stessa verso quella parte d'onde la corrente fissa viene. Similmente dimostrasi che se la corrente terminata mobile fosse ascendente dovrebbe parallelamente a se stessa muoversi verso quella parte dove la corrente fissa va.

Da ciò segue che se la corrente terminata fosse fissa e la indefinita fosse mobile, questa sotto l'azione dell' ascendente dovrebbe retrocedere cioè muoversi per verso contrario alla sua direzione, e per la discendente dovrebbe muoversi secondo la sua direzione.

Non possiamo con l'esperienza verificare cotesti risultamenti del razіocinio, perchè non ne abbiamo i mezzi, ma invece ne verificheremo altri che discendono da questi.

Azione di una corrente rettilinea indefinita fissa sopra una corrente

rettangolare o circolare mobile intorno ad un asse che passi per lo mezzo (*fig.*199). Sia *l m* la corrente fissa, *a b c d* la corrente rettangolare, che supporremo da prima mancante del lato superiore, mobile



intorno all'asse *xg*: per le cose dette di sopra s'intende, che il lato *ab* in cui la corrente è discendente, dovrebbe andare verso la parte d'onde la corrente fissa viene, il lato *c d* per contro tende verso la parte dove la corrente fissava, ed il lato inferiore finalmente tende a rivolgersi in modo che la corrente che passa per esso si riduca parallela alla corrente fissa e diretta per lo stesso verso. Sicchè il rettangolo si disporrà nel modo dinotato dalla figura, trovando così la sua giacitura di equilibrio stabile alla quale ritornerà se ne venga rimosso, dopo una serie di vibrazioni eseguite intorno all'asse *g x*.

Se poi il rettangolo sia intero siccome appresso viene dalla figura dinotato, allora si trova che i due lati *f h* ed *e g* in cui le correnti hanno opposte direzioni debbono anche avere opposte tendenze, ma posto che si bilanciassero, nondimeno il rettangolo si dirigerebbe come nel caso antecedente per effetto della corrente che passa pe' due lati *e f* ed *h g*.

Se da ultimo la corrente fosse circolare, anche questa si disporrebbe con la parte discendente verso la origine della corrente fissa, con la parte ascendente verso la fine di questa e con la parte inferiore secondo il verso della medesima; e ciò perchè una corrente curvilinea esercita la medesima forza che la rettilinea che le facesse da corda, o la rettilinea che fosse la proiezione della curva, onde una corrente circolare può considerarsi come rettangolare, o meglio come se fosse il quadrato circoscritto al cerchio. Ed in generale con l'apparecchio elettrodinamico dimostrasi che una corrente rettilinea ed una flessuosa a piegature non molto grandi esercitano azioni perfettamente eguali. E per fermo se una corrente cammini per un conduttore rettilineo e poi torni serpeggiando intorno a questo, le due correnti una dritta ed una flessuosa

che vanno per opposte direzioni non esercitano azione veruna sopra una corrente mobile, il che dinota che le loro azioni essendo contrarie sono eziandio eguali.

Le correnti rettangolari o circolari dunque delle quali di sopra è detto, sotto l'azione della corrente fissa, trovansi guidate da una forza direttrice e non tendono a trasferirsi verso alcuna parte.

Volendo con l'esperienza verificare cotesta forza direttrice delle correnti anzidette, immaginatevi le colonne metalliche della fig. 194 impiantate sulla tavola dell'apparecchio elettrodinamico (*fig.* 200) e alle coppe x, y sospeso, come altrove dicemmo, un rettangolo di filo di rame. Sulla stessa tavola poi stia un telaio moltiplicatore *KH* intorno al quale sia avvolta come si disse a replicati giri una striscia di rame vestita di seta, i cui capi vanno ad unirsi a due pinzette *i l*. Applicati i reofori della pila alle pinzette *b e d*, la corrente girerà pel rettangolo mobile, e per la striscia di rame del *telaio moltiplicatore KH*, mercè un sistema di conduttori situati sulla tavola; onde *H S* rappresentando la corrente indefinita fissa, il rettangolo di filo di rame si vedrà rotare intorno e disporsi dopo alcune vibrazioni nella giacitura di sopra indicata. Se il filo di rame fosse ripiegato in modo che la corrente dovesse percorrerlo nel modo dinotato dalla figura 201 è chiaro che questo rimarrebbesi indifferente per qualunque giacitura, ossia privo di forza direttrice, per cui ha ricevuto il nome di rettangolo *astatico*.

Fig. 200

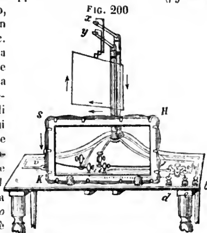


Fig. 201.



Sulla tavola ci ha un congegno la cui mercè rimanendo nel rettangolo la corrente come si trovava, cangia direzione solo nel telaio moltiplicatorè, talchè se prima andava di *H* in *S*, (*fig.* 200) vada poi di *S* in *H*, allora si vedrà tosto il rettangolo mobile rotare intorno e fermarsi in una giacitura opposta all'antecedente. Questo congegno che inverte una parte del circuito, ed interrompe anche a piacimento la corrente, ha il nome di *commutatore*: esso nel modo da me ridotto è rappresen-

tato a parte nella (*fig.* 202.) Il medesimo consiste in una croce di

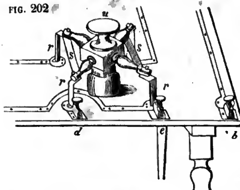


FIG. 202

legno mobile intorno al suo asse, con due strisce metalliche *s*,*s* che ne congiungono le braccia in parti opposte le quali si ripiegano a formare quattro piedi *r r* uno de' quali può comunicare con la pinzetta *d* e gli altri tre con le origini di altrettanti conduttori che sono sulla tavola, uno de' quali va alla seconda colonna dell'apparecchio e gli altri due si congiungono alle pinzette alle quali abbiam veduto metter capo la striscia di rame del telaio moltiplicatore. In *u* è dinotata una vite di pressione la quale se si stringe assicura il contatto de'piedi *r r* co' conduttori, e se si svolge, il commutatore si rialza spinto da una molla spirale collocata nell'asse, e la corrente s'interrompe; e se finalmente si gira per un quarto di cerchio la croce, sicchè i piedi *r r* cambiino luogo, allora si ha la inversione di cui facevamo parola. Nell'apparecchio di Ampère il commutatore era diversamente ordinato. Del resto il problema da risolvere era d'interrompere ed invertire la corrente, ed i mezzi meccanici sono per questo diversi, onde ognuno può immaginare il suo commutatore, ed io stesso ne avrei altri in pronto. Nel farmi eseguire l'apparecchio elettrodinamico ebbi in mente di recarvi maggiore facilità di dimostrazione, e volli togliere l'incomodo del mercurio che si trovava nel commutatore amperiano.

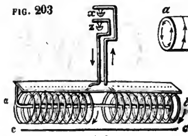


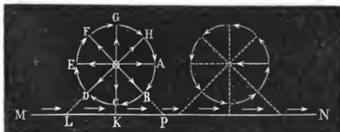
FIG. 203

Stimo inutile il dirvi come nella esperienza antecedente si possa al circuito rettangolare sostituirne uno circolare o anche di altra figura. Or se invece di una corrente circolare ne supponete una serie, tutte parallele e dirette per lo stesso verso (*fig.* 203), da avere ciocchè si chiama un *cilindro elettrodinamico* o un *sele-*

noide, è chiaro che se questo stia orizzontale e mobile intorno ad un asse verticale che passi pel suo centro di gravità, dovrà disporsi in croce con la corrente indefinita fissa che suppongo orizzontale,e chiamando polo australe quell'estremo del cilindro anzidetto in cui le correnti ascendono verso la vostra destra quando lo guardate di rincontro, non durerete molta pena ad intendere che siffatto cilindro nel disporsi in croce con la corrente dovrà volgere il suo polo australe a sinistra,appunto come vedemmo comportarsi l'ago calamitato per l'azione della corrente. Non potendo avere un sistema di correnti circolari così come dovrebbero trovarsi per formare un cilindro elettrodinamico, noi lo imitiamo per quando è possibile con un sol filo di rame piegato ad elica (*fig.*203) cominciando dal mezzo ed andando ad un estremo e poi da questo all'altro estremo, terminando nel mezzo,perchè così facendo si hanno in questo punto i due capi *n*, *z* per sospendere l'elica all'apparecchio elettrodinamico, ed il tratto di filo rettilineo che corre da un estremo all'altro distrugge l'effetto della obbliquità de' giri dell'elica, e fa che possano valutarsi come cerchi quando per essi passa la corrente. Ora è agevole l'intendere che quest'elica sospesa in luogo del rettangolo del quale è stato detto di sopra sarà percorsa dalla corrente e sarà sottoposta all'azione di quella che passa pel telaio moltiplicatore, e quindi si vedrà disporsi in croce con questa secondo la legge indicata. Cotesta imitazione del cilindro elettrodinamico suol dirsi anche *selenoide* con voce usata la prima volta da Ampère.

Azione di una corrente rettilinea indefinita fissa sopra una corrente rettilinea terminata, mobile intorno ad un suo estremo. Sia M N (*fig.*204) la corrente indefinita fissa ed OA la terminata mobile in-

FIG. 204.



torno al centro O, e diretta primieramente dal centro alla circonferenza. Agevole sarà, per ognuno che rammenti il principio fonda-

mentale di sopra espresso, intendere come tra questa corrente e l'altra MN ci debba essere attrazione perchè dirette per lo stesso verso; la corrente OA dunque attratta da MN prenderà una giacitura OB, ma allora nell'angolo OPN ci sarà attrazione e nell'altro OPM ripulsione, per le cose dette di sopra, e però la corrente seguirà il suo cammino e verrà per esempio in OC in cui verificandosi le medesime condizioni dovrà proseguire innanzi, e così sempre seguitando ad applicare il principio più volte ricordato s'intenderà che la corrente terminata dovrà rotare continuamente intorno al centro O.

Se poi la corrente terminata andasse dalla circonferenza al centro, essa roterebbe per verso contrario della precedente sotto l'azione della medesima corrente indefinita.

La rotazione anche cangerà verso se la corrente fissa cangi direzione.

E se la corrente fissa conservando la sua direzione passi alla parte opposta, la rotazione della corrente mobile cangerà verso, ma se la corrente fissa nel passare alla parte opposta muti anche direzione, la corrente mobile roterà come prima. Laonde se questa si trovi tra due correnti indefinite fisse che vadono per versi contrarî (*fig.*205) roterà con maggiore efficacia, e per contro o non roterà

FIG. 205.



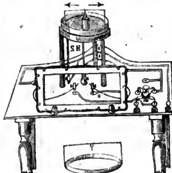
punto o debolmente se stia tra due correnti che vadano per lo stesso verso, rappresentando queste, due forze che tendono a far rotare la corrente mobile per versi contrarî.

Se la corrente indefinita fissa si trovasse dentro la circonferenza della corrente mobile allora questa intersecando quella, sarebbe anch'essa indefinita, e si avrebbero ne'quattro angoli quattro forze come nel caso della fig.296, per cui si avrà una giacitura di equilibrio e la rotazione continua mancherà.

Per vedere in modo sperimentale come la corrente terminata mobile nel modo detto di sopra roti per l'azione della corrente in-

definita fissa, immaginate sulla tavola dell'apparecchio elettrodinamico collocato un vase cilindrico anulare di rame sostenuto da tre piedi di legno. Per l'interno forame di questo vase passi una colonnetta metallica *H* (*fig.* 206) la quale termini in una piccola coppa in cui si pone una goccia di mercurio, questa colonnetta è congiunta al conduttore che sta sulla tavola e che nelle sperienze antecedenti comunicava con una delle colonne che qui supponiamo tolte; il conduttore poi che comunicava con l'altra colonna si congiunge ora ad una striscia di rame *S* che viene dal fondo del vase anulare. Si versi in questo vase dell'acqua acidolata, e si poggi nella coppa ch'è al sommo della colonnetta *H* la punta di acciaro del conduttore che si vede disegnato a parte, il quale consiste in un anello di rame leggiero con una maniera di manico di filo di rame avente una punta in mezzo. Pescando l'anello nell'acqua acidolata, è chiaro che la corrente che nelle sperienze antecedenti saliva per una delle due colonne e discendeva per l'altra, salirà per la colonnetta *H*, passerà alla punta di acciaro, si diramerà per le due braccia del filo di rame per venire all'anello, quindi attraverso l'acqua acidolata passerà al vase anulare e discesa per la striscia di rame *S* girerà come altrove abbiam veduto pel telaio moltiplicatore che rappresenterà la corrente indefinita fissa, ed allora il filo di rame con l'anello roterà nel modo che di sopra è detto. Invertendo la corrente indefinita col voltare il commutatore vedrete la rotazione avvenire per verso contrario.

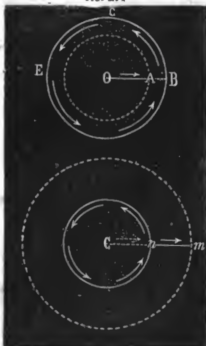
FIG. 206



Dalle cose dette di sopra rendesi aperto che il verso della rotazione della corrente mobile dipende dalla sua direzione, da quella della corrente fissa e dalla giacitura di questa per rispetto a quella. Laonde di queste quattro cose quando se ne conoscono tre, la quarta può essere conosciuta. Così per ragion di esempio, se conoscete il verso della rotazione della corrente mobile, il sito e la direzione della corrente fissa, potete conoscere la direzione della corrente mobile.

***Azione** di una corrente circolare fissa sopra una corrente rettilinea terminata mobile intorno all' asse della corrente circolare, e collocata o nel piano della medesima o in un piano a questo parallelo.* — Dalle cose dette intenderete di leggieri che la corrente

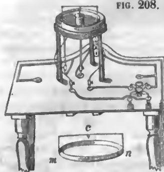
FIG. 207



rettilinea *OA* (fig. 207) mobile intorno al centro *O* della corrente circolare fissa, dovrà rotare intorno al detto punto per verso contrario alla direzione della corrente circolare, se vada dal centro alla circonferenza, e per contro secondo la direzione di questa se vada dalla circonferenza al centro. Perocchè si ha sempre attrazione da una parte e ripulsione dall'altra. Dicasi lo stesso se la corrente rettilinea terminata mobile *nm* si trovasse fuori della circonferenza della corrente circolare, soltando con la medesima direzione roterebbe per verso contrario. Onde se la corrente fosse C *m* le due parti C *n* ed *nm* tenderebbero a rotare per versi contrarî, e la rotazione mancherebbe. Sarebbe lo stesso se la corrente mobile rappresentasse il diametro del cerchio, perocchè allora in un raggio andrebbe dalla circonferenza al centro e nell'altro invece dal centro alla circonferenza.

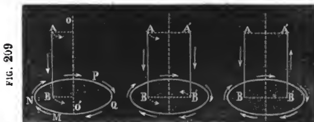
Se per esperienza vogliate farvi certi di questa maniera di conflitto elettrodinamico, prendete il vase anulare innanzi descritto circondato da un nastro di lamina dello stesso metallo vestito di seta, il quale nastro metallico, fatti intorno al vase cinque o sei giri, si congiunga co' suoi estremi alle pinzette alle quali unimmo i capi dell'altro nastro di rame del telaio moltiplicatore. Nel vase anulare si pone al solito acqua acidolata nella quale pesca l'anello metallico *m n* (*fig.* 208). Al passare della

FIG. 208.



corrente si avrà la rotazione nel modo che il raziocinio avea fatto già prevedere.

Che se la corrente rettilinea fosse perpendicolare al piano della circolare, e mobile intorno all'asse della medesima s'intenderà agevolmente come anch'essa debba rotare intorno, di modo che se sia discendente procederà per verso contrario alla direzione della corrente circolare, e se sia ascendente per lo stesso verso di questa. Uno sguardo alla figura 209 basterà a fare intendere come la



corrente AB mobile intorno dell'asse OO' debba rotare per verso contrario alla direzione della corrente circolare fissa $MNPQ$.

La stessa figura rende aperto come due correnti che formino un sol sistema rappresentino due forze cospiranti se procedono per lo stesso verso, e forze opposte se vadano per versi contrarî. Dal che segue che nell'ultimo sperimento descritto può nella rotazione prender parte anche l'azione della corrente circolare sulle due branche verticali del filo, qualora l'anello moltiplicatore non venga collocato in modo che siffatte branche restino per metà sotto il piano del medesimo; ma del resto l'esperienze si possono anche in altri modi ordinare. Noi vogliamo contentarci di additarne solo alcune senza descriverle tutte minutamente, perocchè in questa materia dopo aver provato con esperienze sicure il principio, la logica sola è sufficiente.

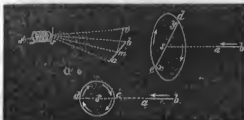
Ritornando per poco sulle fig. 207 e 209 vi sarà agevole l'intendere che se le correnti rettilinee fossero fisse, le circolari si muoverebbero rotando intorno a' loro centri per verso contrario a quello per cui avrebbero rotato le rettilinee.

Quindi s'intende come prendendo invece di una corrente circolare un cilindro elettrodinamico o un selenoide ne dovrà avvenire che il medesimo essendo fisso faccia rotare le correnti rettilinee mobili, e le rettilinee terminate fisse farebbero rotare il cilindro elettrodinamico mobile.

Non è possibile verificare con l'esperienza tutte le verità che si deducono dal principio fondamentale: perocchè è questa tale una dottrina in cui il raziocinio precede ed avvanza l'esperienza, e pe-

rò questo trattato ci mostra il vero tipo o modello di quel che deve essere una teorica: questa soprasta in perfezione scientifica la stessa dottrina della gravitazione universale. Ampère dunque movendo dall'indicato principio dimostrava col calcolo; *la risultante di tutte le azioni che un selenoide indefinito esercita sopra una corrente rettilinea di piccola lunghezza, essere una forza perpendicolare al triangolo che ha per base la corrente e per vertice l'estremo dell'asse del selenoide, ed il punto di applicazione di questa forza essere alla metà della corrente rettilinea, sia quale si voglia la giacitura dell'asse del selenoide* (*fig.*210) (1). Per la qual cosa ci ha due giaciture della corrente rettilinea nelle quali l'anzidetto triangolo non si può avere, e la rotazione deve mancare, e queste due corrispondono una nel prolungamento dell' asse del sclenoide ed un' altra nel piano della sua base, ossia nel prolungamento del raggio, ma in questo secondo caso se il selenoide fosse molto grande e la corrente rettilinea molto vicina, questa dovrebbe rotare siccome abbiam veduto intervenire per effetto d'una corrente circolare.

FIG. 210.



Avvertiamo in fine che due cilindri elettrodinamici o selenoidi si comportano tra loro a guisa di due calamite, perocchè i poli dello stesso nome si repellono e quelli di nome contrario si attraggono, siccome si può verificare con l'apparecchio elettrodinamico, sospendendone uno nel modo che di sopra fu detto ed i capi dell'altro lunghi e pieghevoli mettendoli in comunicazione con le pinzette cui si sono congiunti i capi del nastro di rame del telaio o dell'anello moltiplicatore. S' intende eziandio come un cilindro elettrodinamico diviso per metà debba rappresentarne due interi, come le parti contigue debbano attrarsi ec. (2).

(1) Qui l'aggiunto d'indefinito applicato al selenoide importa che sia molto lungo. L'intensità della risultante poi è in ragione diretta di quella del selenoide, di quella della corrente rettilinea, della lunghezza di essa, del seno dell'angolo *ams* e finalmente in ragione inversa del quadrato della distanza *ms*.

(2) Chi amasse più ampie notizie sopra questo subbietto e non possa leggere l'opera di Ampère, potrà consultare le opere del Peclet, del Pouillet, ed il trattatello del P. Palladino intitolato: *Teorica matematica della pila.*

LEZIONE XVI.

FENOMENI ELETTROMAGNETICI.

La corrente opera sulle calamite e queste su quella dando quei medesimi effetti che si avrebbero da' conflitti tra cilindri elettrodinamici e correnti, e però supposta la calamita come un cilindro elettrodinamico potete prevedere e più agevolmente dar ragione de' fenomeni de' quali dovrò tenervi discorso.

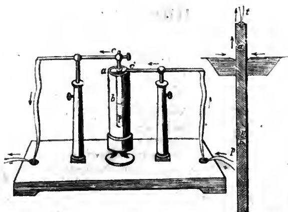
Ed in prima noi dimostrammo come un cilindro elettrodinamico orizzontale mobile intorno ad un asse verticale che passava pel suo centro di gravità dovea disporsi in croce con una corrente fissa, e voi già sapete pel fatto di Oersted che l'ago calamitato tende a disporsi nello stesso modo con la corrente. L'ipotesi perciò di una *forza rivolutiva* immaginata dal celebre fisico danese è assolutamente volta in obblio, e quel fenomeno si traduce in un teorema di elettrodinamica, del pari che gli altri fenomeni elettromagnetici.

Prendete due lamine sottili,perchè sian leggiere,una di rame ed una di zinco, o meglio, di platino e zinco amalgamato, fissatele ad un pezzo di sughero e congiungetele con un filo di rame a forma di cerchio: mettete questo semplicissimo apparato detto *anello galleggiante di La Rive*, entro un vase con acqua acidolata, ed avrete una coppia in cui la corrente fuori del liquido andrà dal rame o dal platino allo zinco. Ciò posto prendete una calamita e presentate uno de' suoi poli di rincontro all'anello e vedrete attrazione o ripulsione. Fatevi il conto sulla calamita come fosse cilindro elettrodinamico, ricordandovi che il polo australe è quello in cui le correnti ascendono verso la vostra destra quando guardate questo polo di fronte, e vedrete che se la corrente dell'anello e quelle della calamita vanno per lo stesso verso voi avete attrazione,se poi vanno per versi contrarî, ripulsione.Nel caso dell'attrazione l'anello correndo si ferma nel mezzo della calamita che si trova infilzata in esso, perocchè consideratala come cilindro elettrodinamico, ci deve essere equilibrio tra la metà delle correnti che tirano da una parte e l'altra metà che tirano dalla parte opposta.

Rotazione della calamita per effetto della corrente elettrica. —

In un vase di vetro *a* (*fig.* 211) si pon del mercurio, ed in questo

FIG. 211.



una calamita la quale tenga un pezzo di platino ad uno de' suoi poli il quale facendo da zavorra obbliga la calamita a tenersi dritta nel mercurio, all'altro polo essa ha un incavo in cui si pone una goccia di mercurio. Il vase di vetro ha una maniera di orlo metallico che toccar deve il mercurio contenuto nel vase,dal quale orlo parte un conduttore *c'*; un altro conduttore *c* finisce in una punta verticale che pesca nel mercurio della piccola cavità che trovasi sul polo superiore della calamita. Facendo comunicare i due conduttori anzidetti coi poli della pila,la calamita roterà velocemente intorno al suo asse a guisa di una trottola. Qui considerate la corrente che dall'orlo metallico attraversa il mercurio come la corrente terminata fissa *c* la calamita come cilindro elettrodinamico mobile, e vedrete come debba risultarne la rotazione di cui si parla.

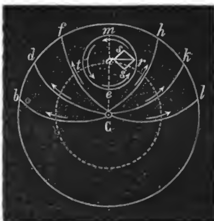
FIG. 212.



Ci ha pure un altro modo di far rotare la calamita per effetto della corrente, scoperto già molto prima che se ne sapesse la vera ragione. La punta (*fig.* 212) *t* scende a pescare col mercurio contenuto nel vase *vv'* e la calamita con la sua zavorra di platino *p* trovasi lateralmente; essa allora rota intorno alla punta. Per intendere la ragione di questo fatto figuratevi che il cerchio *eft* dinoti la sezione orizzontale della calamita

considerata come selenoide (*fig.*213), C il centro del vase da cui le correnti si diramano verso gli orli, è chiaro che il selenoide è attratto dalle correnti che sono a destra, respinto da quelle che sono a sinistra, e quantunque le prime mentre attraggono la porzione *erm* respingono l'altra *mte*, pure l'attrazione prevale alla ripulsione per la minore distanza della porzione di circonferenza attratta a petto della repulsa, dicasi lo stesso delle ripulsioni; perciò in ultimo si hanno due risultanti *as* che dinota la prevalenza delle ripulsioni ed *as'* quella delle attrazioni le quali danno la risultante finale *ar*, che facilmente dimostrasi dover essere perpendicolare al diametro *me* e dovere passare per lo centro *a*; per cui la calamita considerata come selenoide non ha alcuna tendenza a rotare intorno al proprio asso, ma sì bene a trasferirsi secondo *ar*, e poichè il mercurio distrugge la velocità acquistata, così la calamita descriverà una curva perpendicolare a tutte le rette che passono come *cm* per lo centro C, ossia andrà per una curva il cui raggio è *ac*.

FIG. 213.



Rotazione delle correnti per l'azione delle calamite. — Continuate a considerare la calamita come selenoide e vedrete che le correnti roteranno per l'azione di quella nel modo come si è dimostrato dover rotare per l'azione di questi. Sia *ss'* un vase anulare di zinco (*fig.* 214) sul foro di mezzo sia collocata verticalmente una colonnetta di rame che termina in una coppa c in cui



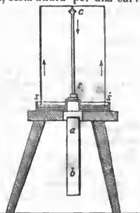


FIG. 214.

si pone un poco di mercurio. Posta nel vase di zinco acqua acidolata, si appoggi nella coppa la punta del conduttore di rame della forma dalla figura dinotata, in modo che l'anello inferiore peschi nell'acqua acidolata;avrete così una coppia in cui la corrente ascenderà per le branche verticali del conduttore e discenderà per la colonnetta ; or ponete di sotto al vase e nel mezzo di esso una calamita *ab*, e vedrete il conduttore anzidetto rotare velocemente intorno al proprio asse o alla colonnetta. Scambiate i poli alla calamita e la rotazione si compirà per verso contrario.

Non vi parlerò del cilindro girante di Marsh, del mulinello di Barlow e di altri apparecchi co' quali dimostrasi la rotazione delle correnti per effetto delle calamite , non potendo molto allargarmi in parole.

Dalla contemplazione degli anzidetti fenomeni Ampère trovò ragione a supporre la calamita essere un vero cilindro elettrodinamico formato di migliaia di piccole correnti parallele e rivolte per lo stesso verso circolanti intorno alle molecole del corpo. Suppose i corpi magnetici possedere siffatte correnti , ma in una maniera disordinata, e la calamitazione obbligarle a disporsi parallele e dirette per lo stesso verso , le quali se restano così ordinate si ha magnetismo permanente, se poi cessata la cagione ordinatrice , si dispongono come prima intralciate e confuse, allora si avrà magnetismo temporaneo. Questa parte ipotetica della teorica amperiana se par che meriti di essere almeno modificata per le nuove scoperte del Faraday e specialmente pe' fenomeni del diamagnetismo, pure ha ricevuto nuovo fondamento da altre scoperte di cui appresso parleremo. Intanto è mestieri sappiate come la calamita fa impeto sul dardo di luce che passa attraverso le punte di carbone di cui fu detto di sopra , ed è bello veder quella luce incurvarsi innanzi alla calamita.

Ponete che le correnti molecolari di una calamita operino su quelle confuse del ferro o dell'acciaro per disporle ad esse parallele ed intenderete perchè il polo australe della calamita rende polo boreale quella parte del ferro che tocca, perchè nel mezzo della calamita non si ravvisa virtù attrattiva , essendo le correnti della calamita eguali dall' una parte e dall' altra , e perchè l' azione diviene maggiore verso gli estremi (1).

Di qui è che se un'elica di filo di rame vestito di seta circondi un ago di acciaro, questo al passar della corrente sarà calamitato, sebbene non si calamiti a saturazione attesa la sua forza coercitiva la quale però fa che l'acciaro resti calamitato; ma più intensa di gran

(1) V. V. le memorie del Nobili Firenze 1834.

lunga sarà la forza che acquista il ferro circondato in simil guisa dalla corrente, ed il suo magnetismo sparirà quasi per intero, specialmente se il ferro è dolce, al cessare della corrente elettrica; in tal modo si fanno le così dette *calamite temporarie* o *elettromagneti*. Prendete dunque un filo di rame vestito di seta ed avvolgetelo ad elica sopra un cilindro di ferro dolce formandone un gomitolo a più ordini, congiungete i capi di questo filo co' poli della pila e tosto vedrete il ferro convertito in poderosa calamita che potrà sostenere centinaia di chilogrammi di peso. (*fig.* 215 e 216). Interrompendo il circuito il magnetismo sparirà, ed invertendo la corrente il ferro ritornerà ad esser calamita co' poli permutati.

FIG. 216.

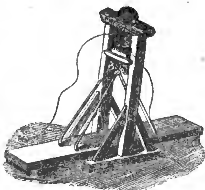
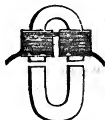


FIG. 215.



Per conoscere poi con quale legge i poli delle elettromagneti si manifestano, conviene che distinguiate l'eliche in *destrorso* e *sinistrorso*, secondo il verso onde il filo si avvolge.La vite, quel ordigno onde si sturano le bocce, sono eliche destrorso, girando per verso contrario avrete l'elica sinistrorso. Ciò posto nel caso che l'elica sia del primo genere, sarà polo australe quell'estremo del ferro che corrisponde dove la corrente esce, e per contro, se l'elica è del secondo genere il polo australe corrisponderà a quella parte per cui la corrente entra nell'elica. In altri termini, l'elica specialmente se sia a passi molto serrati, è un selenoide, e quindi i poli del ferro che essa circonda corrispondono a quello del selenoide anzidetto. Per avere il massimo di effetto ci ha alcune leggi trovate da Lenz e Iacobi delle quali non posso parlarvi per ora, solo vi dirò che se la pila è di pochi e larghi elementi il filo di rame deve esser grosso e di poca lunghezza, se poi la pila sia di tensione il filo deve essere sottile e lungo.

Coteste calamite temporarie soglionsi fare a ferro di cavallo (*fig*. 215 e 216) ed hanno ricevuto alcune applicazioni delle quali a suo tempo discorreremo.

FIG. 216.

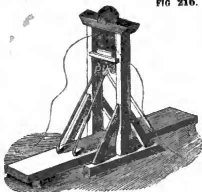
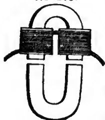


FIG. 215.



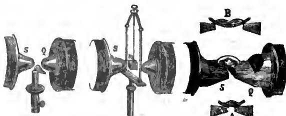
Le calamite temporarie potendo avere gran forza possono essere adoperate per calamitare a saturazione delle grosse verghe di acciaro per avere potenti calamite artificiali.

Con una energica calamita temperariá vide il Bancalari che la fiamma collocata tra i poli dell' anzidetta calamita è respinta. Di questo fatto si dà ragione dicendo che l'ossigeno il quale è magnetico alla temperatura dell' ambiente diviene diamagnetico a quella della fiamma, secondo l'esperienze del Faraday, e però la fiamma sarebbe respinta.

Con queste calamite si dimostra che alcuni corpi si dirigono secondo la linea de'poli ed altri pongonsi a questa perpendicolari, onde la distinzione dei corpi magnetici e diamagnetici di cui altrove discorremmo.

Plucker finalmente ha veduto che ponendo tra i poli di una di coteste calamite temporarie della soluzione di cloruro di ferro in un vetro da oriuolo, questa mostra uno o due rigonfiamenti secondo la distanza de'poli: vedete la figura 217.

FIG. 217.



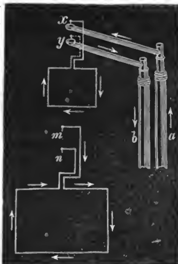
LEZIONE XVII.

AZIONE DELLA TERRA SULLE CORRENTI MOBILI.

La terra fu già altrove considerata come una calamita, ed or che abbiamo veduto queste comportarsi come selenoidi per rispetto alle correnti mobili, è naturale aspettarsi dalla terra la medesima virtù di muovere le correnti. Or l'azione che la terra esercita sulle correnti mobili si può riassumere in una sola proposizione dicendo, che essa si comporta con le medesime a guisa di una corrente indefinita fissa orizzontale che va di oriente in occidente, e posta verso sud dell'osservatore collocato nelle latitudini boreali.

Ed in prima, l'esistenza e la direzione della corrente terrestre si dimostra dal vedere che sospeso alle colonne dell'apparecchio elettrodinamico (*fig.* 194) un conduttore rettangolare o circolare mobile intorno di un asse verticale che passi pel suo mezzo, questo al passare della corrente si disporrà col lato discendente ad oriente, e col lato ascendente ad occidente, accennando così ad una corrente indefinita fissa che va di oriente in occidente. E se invece di una corrente circolare si ponga un selenoide, esso si dirigerà come l'ago di declinazione col polo australe a nord. Per la qual cosa l'ago di declinazione si dirige sotto l'azione della terra, perchè si mette in croce con la corrente terrestre e col polo australe a sinistra.

FIG. 194.



Per conoscere poi anche la giacitura della corrente terrestre ricorriamo alle correnti rettilinee terminate mobili intorno di un loro estremo, perocchè saputa la direzione della corrente terrestre e conoscendo la direzione ed il verso per cui rota una di queste correnti terminate, conosceremo la giacitura della corrente indefinita, ossia della corrente terrestre. Ora prendendo il vase anulare di rame altrove descritto senza il telaio o l'anello moltiplicatore e facendo passare la corrente dalla colonnetta al vase affinchè percorra

sò della macchina idroelettrica ? Comunque sia conviene nella incertezza in cui siamo considerare l'attrito come cagione di elettricità, senza negare che possa trovarsi una cagione più generale che sotto di se lo comprenda.

In generale tutt'i corpi solidi siano buoni siano cattivi conduttori svolgono elettricità per attrito.

L'attrito tra solidi e liquidi, come tra vetro e mercurio anche svolge elettricità.

Non si ha alcuna esperienza che dimostri svolgimento di elettricità per attrito de' liquidi tra loro.

L'attrito de'fluidi aeriformi neppure si conosce dare origine ad elettricità alcuna, ed il Pouillet dice nemmeno aversi elettricità dall'attrito de'fluidi aeriformi co'liquidi o co'solidi, almeno in quei casi in cui i fluidi aeriformi non contengano particelle solide, ma non pare che ciò possa affermarsi in modo assoluto, perocchè in tempo secco un bastone di ceralacca si elettrizza agitandolo nell'aria.

L'elettricità di attrito si ha meglio tra corpi che presentino una diversità, vale a dire che siano o di diversa natura o si trovino in condizioni diverse per temperatura, per ordinamento molecolare, per superficie ec. Così strofinando due corpi della stessa natura uno più caldo dell'altro, il primo prenderà elettricità negativa. Dicasi lo stesso se uno sia più scabro dell'altro, onde se strofinate una lamina di vetro smerigliato con un'altra liscia, la prima prenderà elettricità negativa.

Una lamina metallica stropicciata con la polvere del medesimo metallo prende elettricità positiva (1).

Due lamine metalliche messe agli estremi de' capi del galvanometro e stropicciate mentre si tengono per due manichi isolanti, svolgono elettricità bastante a generare deviamento nell'ago, quantunque anche la temperatura che si eleva al contatto per l'attrito possa generare corrente siccome tra poco verremo dichiarando.

Becquerel ha ordinato parecchi metalli in una serie nella quale ciascuno prende elettricità positiva strofinato con quelli che seguono e negativa con quelli che precedono (t. II, p. 114).

Antimonio	Argento	Platino
Arsenico	Oro	Palladio
Cadmio	Rame	Cobalto
Ferro	Stagno	Nichel
Zinco	Piombo	Bismuto

(1) V. il trattato di Becquerel, t. II p. 117.

Libes mostrò la prima volta che premendo leggiermente un disco metallico con manico isolante sopra un disco di legno coperto di seta verniciata, il metallo mostrava elettricità negativa. Appresso Haüy fece conoscere come lo spato d'Islanda acquista una tensione positiva che conserva per alcuni giorni se sia premuto tra le dita ; onde ne derivò l'elettroscopio di Haüy. Egli ravvisò la stessa virtù anche in alcuni altri minerali; ma Becquerel ha trovato esser essa comune a tutt'i corpi anche a'deferenti, purchè siano isolati. Il sughero p. e. premuto contro la gomma elastica e poi prontamente separato prende elettricità positiva. Ma in certi casi non si saprebbe dire se l'elettricità si svolge per pressione o per distacco. E veramente il distacco è esso stesso cagione di elettricità. Becquerel ha dimostrato che il *clivaggio* ossia la divisione naturale de'cristalli può svolgere elettricità. Staccando rapidamente due lamine di mica si vede nel buio una luce fosforica, e se queste lamine siano staccate mercè due manichi coibenti si può vedere all'elettroscopio che una porta elettricità positiva e l'altra elettricità negativa. La separazione meccanica dunque delle molecole de'corpi pare che generi svolgimento di elettricità, ma non sempre ci riesce a dimostrarne l'esistenza, perocchè specialmente ne' corpi deferenti l'equilibrio tosto si ricompone, o se volete le due elettricità prontamente si riuniscono. Da ciò deriva sicuramente la luce fosforica che mostrano i pani di zucchero quando si frangono nelle tenebre.

Cagioni fisiche.— La capillarità, il calorico, la luce e le induzioni formano la serie conosciuta delle cagioni fisiche delle correnti elettriche con alcuni dubbi che vedremo.

Capillarità.—Della capillarità discorreremo a suo luogo, e solo diremo in questo momento che alcuni fisici han creduto potersi questa forza considerare come cagione di elettricità, ma i fatti che se ne adducono per prova non sono nè numerosi nè chiari abbastanza da rimuovere ogni dubbio. Se ad uno de'capi del galvanometro si congiunga un cucchiaio di platino pieno di acido nitrico puro ed all'altro capo si unisca una spugna di platino diligentemente lavata nello stesso acido e poi arroventata, ponendo la spugna nell'acido contenuto nel cucchiaio, se il galvanometro sia molto sensibile, si osserverà un deviamento nell'ago il quale indicherà che la spugna ha preso l'elettricità negativa; ma dopo qualche momento la corrente cangia direzione. Se l'acido sia diluito con acqua si avrà solo la prima corrente e non la seconda per opposta direzione la quale viene dal Becquerel considerata come effetto dell'azione capillare.

Con l'acido cloroidrico si hanno fenomeni opposti a quelli di sopra indicati.

Calorico. — Il cangiamento di temperatura svolge in alcuni casi elettricità statica, in altri elettricità dinamica. L'elettricità statica si ha in molti cristalli, in alcuni de' quali è doppia, ossia polare, come nella turmalina. Questo minerale fu portato la prima volta in Europa dagli Olandesi dalle Indie e specialmente dal Ceylan ove è molto frequente, ed i cui abitatori da secoli ne conoscevano la virtù elettrica. Riscaldando dunque cotesto minerale e poscia accostandolo ad un pendolino, si vedrà essere elettrizzato, e coi metodi consueti conoscerassi avere elettricità positiva verso un estremo e negativa verso dell'altro opposto. Questo cristallo è un prisma terminato da due piramidi una a tre ed un'altra a sei facce, or la prima prende elettricità negativa, positiva la seconda. Ci ha parecchi strumentucci appositi per vedere più agevolmente le più piccole tensioni elettriche della turmalina, i quali troverete descritti nella fisica del Peclet ed in altri trattati.

Se mentre la turmalina si trova elettrizzata la spezzate in due, ciascuna parte avrà, come l'intero cristallo, due poli ed una linea neutra.

Se la turmalina si raffreddi dopo di averla riscaldata viene un momento in cui la sua polarità sparisce per ricomparire in verso contrario, cioè il polo che per riscaldamento era positivo diviene per raffreddamento negativo.

Pare per altro che ci siano de'limiti di temperatura entro i quali siffatti fenomeni si manifestano, e questi sarebbero 10° e 150°; a temperature più basse o più elevate la turmalina si comporta come gli altri corpi. Gli anzidetti limiti non sono assolutamente gli stessi per tutte le turmaline, e par che variino alquanto con le lunghezze.

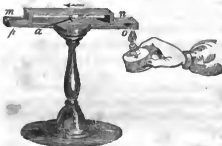
Non tutte le turmaline sono egualmente dotate di virtù piroelettrica e ce n'ha di quelle che interamente ne mancano.

L'elettricità polare per cangiamento di temperatura si è trovata eziandio in altri cristalli, ma sempre in quelli che, come la turmalina, non ubbidiscono alla legge della simmetria.

Termoelettricismo. — Il Volta avea già notato che una lamina di argento i cui estremi aveano diversa temperatura rappresentava un elettromotore, ma fu Seebeck che nel 1821 mostrò ad evidenza che la propagazione del calorico ne' circuiti metallici genera correnti elettriche. Coteste correnti si possono avere talvolta con un circuito di un solo metallo, siccome si può vedere saldando un lungo filo di platino a'capi di un galvanometro a filo grosso e di poca lunghezza e poi con una lampada riscaldando il filo di platino in un punto qualunque; ma pare che nel caso di fili metallici perfettamente omogenei, ne' quali il calorico uniformemente si propaga, siffatte correnti non si abbiano, per cui basta torcere il filo in un punto o avvol-

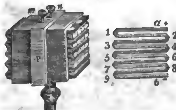
gerlo un poco per veder comparire la corrente col riscaldarlo in vicinanza di cotesta alterazione arrecata alla disposizione uniforme delle molecole del filo. Laonde essendo la eterogeneità una condizione per avere più facilmente le correnti termoelettriche, noi faremo uso di due metalli diversi siccome praticò il dottor Seebeck. Prendete dunque una verghetta di bismuto ed una di rame, per esempio, e saldatele insieme in forma di V, congiunti gli estremi opposti ai capi del galvanometro, riscaldate con una lampada la saldatura, vedrete tosto l'ago annunziarvi una corrente che va dal rame al bismuto. Potete far di meno del galvanometro adottando la disposizione indicata nella figura 227 in cui *po* dinota una lamina di bismuto, *mn* una lamina di rame piegata nella forma che vedete e saldata all'altra di bismuto, ed *a* finalmente dinota un ago calamitato messo in bilico sopra una punta nell' interno del circuito. Allora collocato lo strumento nel meridiano magnetico di modo cioè che l'ago si trovi parallelo alle lamine, si riscaldi una delle saldature *o*, p. e., ed il deviamento dell'ago annunzierà la corrente termoelettrica.

FIG. 227.



Con due sole verghette metalliche saldate insieme si forma una *coppia termoelettrica*, ed unendo più coppie si compone una pila. Le prime pile termoelettriche furono fatte da OErsted e Fourier e poi vennero modificate dal Nobili. Supponete dunque una serie di verghette di antimonio e di bismuto saldate alternativamente insieme l'una presso l'altra a zig zag, in modo che tutte le saldature pari restino da una parte e le impari dall' altra (*fig*. 228.); congiungete la prima e l'ultima co'capi del galvanometro e poi riscaldando tutte le saldature impari o pure tutte le pari, ovvero facendo che le une e le altre si trovino a diversa temperatura, si avrà una corrente la cui tensione cresce col numero delle coppie, e per gli stessi metalli, colla differenza di temperatura tra le saldature pari e le impari.

FIG. 228.



Il Nobili trovò che anche alcuni corpi non metallici come l'argilla possono dare correnti termoelettriche.

Cumming ordinò i metalli in serie per rispetto alla loro virtù termoelettrica. Ciascun metallo è positivo relativamente a quelli che lo precedono. La serie di Cumming è la seguente

Bismuto	Argento	Zinzo
Mercurio	Stagno	Carbone
Nichel	Piombo	Piombagine
Platino	Rodio	Ferro
Palladio	Ottone	Arsenico
Cobalto	Rame	Antimonio
Manganese	Oro	

Nella serie di Cumming si trova eziandio un corpo non metallico quale è il carbone anche sotto la forma allotropica di piombagine. Il Mercurio qui è messo tra i metalli come dotato di virtù termoelettrica, il Matteucci gliel'ha negata, il Gherardi l'ha sostenuta e secondo alcune mie sperienze son di credere che quest'ultimo abbia ragione.

Anche il Becquerel ha ordinato i metalli per rispetto la loro virtù termoelettrica, e la serie è questa.

Bismuto	Stagno	Argento
Platino	Rame	Zinco
Piombo	Oro	Ferro
		Antimonio

Le pile termoelettriche danno correnti molto deboli e ci vogliono centinaia di coppie per poterne avere la scintilla mercè l'estracorrente. I liquidi difficilmente sono attraversati da coteste correnti per la poca loro tensione, e però difficilmente possonsi avere effetti chimici. Il Botto con 150 coppie di platino e ferro ha potuto appena aver segni di elettrolisi.

Le correnti termoelettriche entro certi limiti sono proporzionali alle differenze di temperatura tra le saldature, e ci ha talora delle anomalie singolarissime: così per esempio in una coppia di ferro e rame in cui una delle saldature resti alla temperatura zero e l'altra man mano si riscaldi, la corrente non solo non è proporzionale agli aumenti di temperatura, ma a 300° l'aumento è appena sensibile, a temperature più elevate scema, ed al primo arroventamento s'inverte. Con zinco ed argento il massimo si ha a 120°, la corrente è nulla a 225° ed a temperature più elevate s'inverte, ec.

Una coppia termoelettrica ed un galvanometro possono fare l'uffizio di termoscopio ed anche di termometro per conoscere per esempio la temperatura di un filo metallico per corso dalla corrente idroelettrica ec., e Becquerel e Breehet hàn potuto determinare la temperatura de diversi tessuti sull'animale vivo mercè una coppia esilissima in forma di ago composta di due fili uno di acciaro e l'altro di rame. ed han confermato quello che erasi ancor per altri modi sperimentato, cioè la superiorità di temperatura del sangue arterioso per rispetto al venoso. Con una pila termoelettrica ed un galvanometro finalmente il Melloni ha potuto fare il *termomoltiplicatore*, ed eseguire le belle ed importanti esperienze sul calore raggiante, di cui sarà discorso nella seconda parte del calorico.

Dalle esperienze di Becquerel risulta aversi lo stesso effetto o che i due metalli che costituiscono una coppia immediatamente si tocchino, o che siano separati da un terzo metallo che li tenga saldati, o che vi siano interposti metalli diversi; purchè tutti stiano alla stessa temperatura.

Luce. Il Morichini, Madama di Sommerville e poi molti altri hanno affermato di aver calamitato degli aghi di acciaro esponendoli a' raggi violetti dello spettro solare, ma ripetute coteste sperienze in Inghilterra, in Francia ed in Germania non hanno dato il medesimo risultamento, per cui questo fatto non puossi tenere come sicuro.

Elettricismo e magnetismo. I fenomeni d'induzione provano come l'elettricismo ed il magnetismo siano cagioni acconce a svolgere correnti ne' circuiti chiusi, ed i fenomeni d'influsso in elettrostatica dimostrano come la tensione elettrica di un corpo ne possa generare altre ne' conduttori contigui senza comunicazione.

Cagioni chimiche. Fu il Fabroni il primo a pensare che l'azione chimica fosse cagione di svolgimento di elettricità, e sospettò, da questa origine derivare la corrente nella pila del Volta: Faraday de La Rive, Becquerel, ed altri moltiplicarono le sperienze per provare che veramente le azioni chimiche sian cagione di elettricità, e fondarono la così detta *teorica elettrochimica* della pila. Noi ci contenteremo di esporre alcune sperienze dalle quali risulta una elettricità procedente dalle azioni chimiche.

Il Pouillet ha provato coll'elettroscopio condensatore che nella combustione del carbone si hà elettricità negativa nel combustibile e positiva nell'acido carbonico. Ma il Matteucci ha variato l'esperienza del fisico francese ed è stato indotto a ripetere siffatta elettricità non dalla combinazione dell'ossigeno col carbone, ma dalla scomposizione del vapore aqueo operata dal carbone che brucia. E veramente io hò visto l'esca accesa e messa in comuni-

cazione coll'elettroscopio di Bonhemberger dar segni di elettricità negativa quando vi soffiava sopra col fiato, e raramente soffiandovi col mantice. Ma sia come si voglia questa elettricità deriverebbe sempre dalle azioni chimiche. Nè solo la combustione del carbone e dell'esca dà segni di elettricità, ma tutte le fiamme sulle quali ho sperimentato, come d'acquavite, di carta, di cera, di candele stearichе ec., usando l'elettroscopio di Bonhemberger unito al condensatore, ed ho trovato, con la lucerna ad acquavite isolata, due elettricità diverse nella fiamma secondo che la spira di platino che comunicava con l'elettroscopio s'immergeva verso la punta o verso la base della medesima. Io avea intrapresa una serie di ricerche sopra questo argomento, trovando una certa confusione tra i risultamenti delle sperienze fatte da Volta, da Pouillet, da Becquerel, da Hankel ec., e le tralasciai dopo la pubblicazione di un ampio lavoro di H. Buff sul medesimo subbietto (1). Dalle sperienze di Buff dunque risulta che i fluidi aeriformi portati ad una alta temperatura in cui cessano di esser coibenti svolgono elettricità in contatto co' metalli o con altri corpi conduttori, « che quando si » forma un circuito termoelettrico con l'aria, l'idrogeno o l'idro- » geno carbonato, il vapore di acquavite, il carbone o finalmente » un metallo combustibile o no, si svolge una corrente elettrica che » muovesi attraverso dell'aria dal punto di contatto il più caldo » al meno caldo; che i fenomeni elettrici osservati nella combu- » stione e specialmente nella fiamma procedono da cagioni ter- » moelettriche e non hanno alcuna attenenza immediata col feno- » meno chimico della combustione; che finalmente non può so- » stenersi che i prodotti della combustione siano in opposizione » elettrica col combustibile.

Ma se questa elettricità reputata di origine chimica può essere, e non a torto, da altre cagioni ripetuta, ce n'ha certamente altra che deve indubitatamente reputarsi di origine chimica. Esporremo da prima l'esperienze di Becquerel. Una coppa di platino con entro acido solforico allungato comunichi col piattello inferiore dell'elettroscopio condensatore, nel liquido s'immerga una lamina di zinco tenendola con le dita, sicchè comunichi col suolo col quale deve intanto comunicare anche il piattello superiore dello strumento, badando che lo zinco stando nella soluzione acida non tocchi il platino. Or tolta la lamina di zinco dal liquido e la comunicazione del piattello superiore dello strumento col suolo, ed alzando come al solito questo piattello, le foglie d'oro divergeranno per elettrici-

(1) V. *Ann. des Chemie und Pharmacie*, vol. 80. *Archives des sciences physique et Naturelles*, 1851.

tà positiva: il liquido dunque ed il platino hanno presa questa elettricità mentre lo zinco si ossidava. Che se lo zinco si faccia comunicare con lo strumento e la coppa di platino col suolo, allora si raccoglierà elettricità negativa.

Variando metalli e liquidi il Becquerel ha ottenuto i risultamenti contenuti nel quadro che segue.

COPPA di METALLO	LIQUIDO contenuto NELLA COPPA	METALLO immerso NEL LIQUIDO	STATO elettrico della COPPA
Platino.	Acido solforico concentrato.	......Oro......	......+
idem....	..........*idem*..........	....Argento....	......+
idem....	..........*idem*..........	......Rame......	......+
idem....	..........*idem*..........	......Ferro......	......+
idem....	..........*idem*..........	.....Piombo....	......+
idem....	..........*idem*..........	.....Zinco......	......+
Platino.	Acido solforico allungato...	......Oro......	......+
idem....	..........*idem*..........	....Argento....	......+
idem....	..........*idem*..........	......Rame......	......+
idem....	..........*idem*..........	......Ferro......	......+
idem....	..........*idem*..........	....Piombo.....	......+
idem....	..........*idem*..........	......Zinco......	......+
Rame...	Acido solforico concentrato.	......Oro......	......—
idem....	..........*idem*..........	....Argento....	......—
idem....	..........*idem*..........	.....Platino.....	......—
idem....	..........*idem*..........	......Ferro......	0
idem....	..........*idem*..........	.....Piombo....	0
idem....	..........*idem*..........	.....Zinco......	......—
Rame...	Acido solforico allungato....	......Oro......	......—
idem....	..........*idem*..........	....Argento....	......—
idem....	..........*idem*..........	.....Platino.....	......—
idem....	..........*idem*..........	......Ferro......	......+
idem....	..........*idem*..........	....Piombo.....	......—
idem....	..........*idem*..........	......Zinco......	......+
Platino.	Soluzione di potassa.........	......Oro......	......+
idem....	..........*idem*..........	....Argento....	......+
idem....	..........*idem*..........	......Rame......	......+
idem....	..........*idem*..........	......Ferro......	......+
idem....	..........*idem*..........	....Piombo.....	......+
idem....	..........*idem*..........	.....Zinco......	......+
Rame...	Soluzione di potassa..........	......Oro......	......—
idem....	..........*idem*..........	.....Argento....	......—
idem....	..........*idem*..........	.....Platino.....	......—
idem....	..........*idem*..........	......Ferro......	......+
idem....	..........*idem*..........	.....Piombo....	0
idem....	..........*idem*..........	.....Zinco......	......+

Da queste sperienze risulta che quando un liquido opera chimicamente sopra un metallo cedendo al medesimo uno de' suoi elementi, ci ha sempre svolgimento di elettricità positiva nel liquido e negativa nel metallo. La coppa di platino come quella sulla quale il liquido chimicamente non opera prende la elettricità positiva di questo, onde avete veduto nella pila di Smee, per esempio, la corrente andare dal platino allo zinco. Questo stesso poi dimostrasi mettendo due lamine di due diversi metalli agli estremi del filo galvanometrico ed immergendole in un liquido che abbia azione chimica sopra uno di essi, o almeno più sull'uno che sull'altro. Che se le due lamine fossero dello stesso metallo e perfettamente omogene, come per esempio entrambi di platino nell'acqua regia, non si dovrebbe avere corrente di sorta dovendo essere entrambi egualmente attaccate dal liquido, pure, da principio almeno, è difficile che l'ago del galvanometro resti in quiete, perocchè se una sia più netta o più scabra, ovvero se una sia immersa prima dell'altra, o pure si agiti nel liquido mentre l'altra sta in riposo ec. l'azione del liquido potrà riuscire diversa sopra ciascuna di esse e nascerà la corrente, la quale dopo un certo tempo suole svanire se le due lamine restano in quiete.

Vi accadrà poi di veder muovere l'ago del galvanometro immergendo le lamine di platino in acqua acidula o salata, in acqua di fonte ed anche distillata, nel sangue, nella polpa cerebrale nella bile ec. quantunque il platino non sia chimicamente attaccato da cotesti liquidi. Per la qual cosa bisogna dire che ci siano azioni chimiche impercettibili che il galvanometro rende manifeste, o che la semplice tendenza a combinarsi di un liquido con un metallo basti a darvi corrente, sebbene i fisici credano per altre sperienze delle quali terremo discorso che la semplice tendenza alle combinazioni chimiche possa esser cagione di elettricità statica, ma non mai di corrente la quale è la conseguenza delle azioni chimiche in atto.

Anche le combinazioni de' liquidi tra loro danno origine a correnti elettriche. Si prendono due coppe di vetro o di porcellana, una piena di acido nitrico o solforico e l'altra di una soluzione di soda, di potassa, di barite o di un ossido qualunque, e si fanno comunicare con un lucignolo di bambagia o di amianto messo a cavalcioni sopra i loro orli e bagnato con acqua o con una soluzione salina, allora s'immergono ne' due liquidi due lamine di platino omogene messe agli estremi capi del galvanometro, e si vedrà l'ago indicare una corrente che pel filo va dall'acido all'ossido. E se vi sorge dubbio dall'essere le due lamine immerse in due liquidi diversi i quali possono avere varia affinità col platino, potete immergerle in due altre coppe che contengano acido nitrico, una di queste

per mezzo d'un sifone facendola comunicare con quella che contiene l'acido e la seconda con l'altra ove è l'ossido. L'acido dunque elettronegativo svolge elettricità positiva, e l'ossido elettropositivo svolge elettricitè negativa.

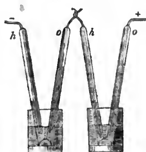
Ciò posto se immergete due lamine di due metalli diversi in un liquido che abbia azione chimica più sull'una che sull'altra, e queste lamine comunichino co'capi del galvanometro, voi potete anticipatamente sapere qual direzione avrà la corrente, perocchè la medesima circolerà pel filo galvanometrico dal metallo meno attaccato dal liquido al più attaccato. Onde se due lamine una di rame ed un'altra di ferro sian messe nell'acqua comune o acidolata, la corrente andrà dal rame al ferro, ma se le immergete in una soluzione d'idrosolfato di potassa liquido che attacca il rame, la corrente circolerà per opposta direzione.

Quindi s'intende perchè immergendo due lamine una di platino e l'altra di oro nell'acido nitrico puro si han no appena deboli segni di corrente che poi svaniscono, non essendo alcuno di questi metalli intaccato dall'acido nitrico puro, ma poche gocce di acido idroclorico fan subito nascere la corrente diretta pel filo galvanometrico dal platino all'oro, essendo quest'ultimo metallo più attaccato del primo dalla unione de'due acidi.

Intenderete pure da questo, che se due lamine di un medesimo metallo siano immerse in due liquidi diversi comunicanti tra loro, uno de'quali attacchi il metallo più dell'altro, dovrà aversi la corrente se le due lamine fuori de' liquidi si congiungano, onde nacque il modo di formare la pila con un metallo e due liquidi che formava pure l'occupazione, in altri tempi, di Luigi Napoleone (1).

Pila a gas di Grove. Questa pila presenta forse la prova più lucida dell'elettricità che si svolge dalle combinazioni chimiche. Il Matteucci avea scoperto che immergendo nell'acqua due lamine di platino una tenuta prima per qualche tempo nel gas idrogeno e l'altra nel gas ossigeno, se a queste sian congiunti i capi del galvanometro, si ha una corrente che pel filo va dalla seconda lamina alla prima. E col condensatore si trova che la lamina stata nell'idrogeno ha elettricità negativa, e positiva quella stata immersa nell'ossigeno. Or supponete una serie di bicchieri con acqua acidolata ed in ciascuno due cannelli di vetro chiusi da

FIG. 229.



(1) *Comptes-Rendus* ec. 1843.

sopra ed aperti di sotto, uno pieno di gas idrogeno e l'altro di gas ossigeno. Ciascun cannello abbia una lamina di platino nell'interno, sporgente di fuori, da poter congiungere il platino che sta nel primo ossigeno con quello del secondo idrogeno e così appresso, in modo che resti libero quello del primo idrogeno e dell'ultimo ossigeno: mettendo allora in comunicazione tra loro queste lamine estreme che rappresentano i poli della pila, si avrà una corrente diretta dall'ossigeno all'idrogeno, ed intanto i gas contenuti ne'cannelli veggonsi scemare di volume nella solita proporzione di uno di ossigeno per due d'idrogeno. Nelle cellule dunque di questa pila si forma acqua e l'ossigeno svolge elettricità positiva, l'idrogeno elettricità negativa. E se nel circuito vi sia un voltametro vi accadrà di poter raccogliere in esso ossigeno ed idrogeno tanto per quanto ne sparisce ne'cannelli, cioè di scomporre tanta acqua nel voltametro per quanta se ne forma nella pila; il che vuol dire che quanta elettricità si occulta nella scomposizione di un grammo di acqua, tanta se ne svolge nella composizione di essa.

Tenendo poi aperto il circuito si ha tensione all'elettroscopio, ma i gas non scemano di volume, onde si conchiude che senza chimiche combinazioni, ma con la semplice tendenza, si ha elettricità statica e non dinamica, essendo per questa necessaria l'azion chimica in atto, siccome dicemmo di sopra.

Gassiot con una pila di 3220 elementi, aventi per liquido acqua distillata, ha avute forti scintille e prolungate, senza segno veruno di azione chimica nelle cellule.

Ma si può domandare, se in tutte le combinazioni chimiche s'abbia svolgimento di elettricità. Il certo è che i nostri strumenti non sempre l'annunziano, ma bisognerebbe conoscere se ciò deriva dal che in alcune congiunture realmente l'equilibrio elettrico delle molecole non venga turbato, o pure tosto si ricomponga in guisa che non ci riesca di renderlo palese. Perocchè una lamina di zinco che si ossida nell'acqua acidolata non mostra la sua tensione elettrica, se non si ponga a contatto col medesimo liquido un metallo meno ossidabile messo in comunicazione col suolo, altrimenti la elettricità negativa dello zinco e la positiva del liquido tosto si ricompongono e non si appalesano. Non sono dunque sempre in nostro potere i mezzi per impedire che la elettricità si occulti in ragione che si svolge quando essa trova modi più acconci di quelli che i nostri strumenti le possono offrire. E per fermo il Matteucci poggiato sopra alcune sue ingegnose sperienze dice, non aversi mai svolgimento di elettricità nelle combinazioni bina-

rie de' corpi semplici, ed io credo avere dimostrato il contrario. Estraggo alcune esperienze della mia memoria sopra questo argomento (1).

E primamente, sapendo essere stato da Inglis dimostrato, che il iodo allo stato liquido diventa buon conduttore dell'elettricità, mi parve opportuno vedere se dalla combinazione di questo metalloide con un metallo si avessero segni di corrente elettrica: ed il risultamento rispose perfettamente alla mia aspettativa. L'esperienza può in due modi ordinarsi. Prendasi un fiaschetto a collo alquanto largo con entro un'oncia o anche più di iodo, chiuso da un turacciolo di sughero, e s'abbiano d'altra parte apparecchiate due lamine una di platino e l'altra di ferro, unite a due lunghi fili dei medesimi metalli, e queste siano aggiustate all'estremo di una stecchetta di legno o di un cannello di vetro che facendo come da manico di questa piccola coppia mantenga le due laminette parallele ed a piccola distanza tra loro; i due fili de' quali di sopra è detto si uniscano a'capi di un galvanometro sufficientemente sensibile. Allora con una lucerna ad acquavite si faccia fondere il iodo, aprendo qualche volta il turacciolo di sughero quando si veggono que'superbi vapori violacei troppo densi, indi s'immergano le due lamine nel iodo liquido, e tosto l'ago del galvanometro annunzierà una corrente che pel filo dello strumento va dal platino al ferro. Il iodo da me adoperato, fatto evaporare sopra una lamina di platino, non dava residuo sensibile, e dopo che era servito a replicate sperienze rimaneva sulla lamina stessa una macchia che annunziava, con gli opportuni reagenti, tracce di ferro. Avrebbe però il iodo potuto contenere dell'acqua, ma siccome nello stesso fiascetto ho fuso più di 20 volte la medesima massa portandola prima fino alla ebollizione, senza che i risultamenti fossero in alcun modo variati, così non ho ragione di sospettare che la corrente osservata potesse derivare dalla presenza dell'acqua. Resta la difficoltà della temperatura, ma anche questa sparisce qualora si ponga mente alla direzione della corrente che per tal modo si ottiene, dovendo tra ferro e platino la corrente termoelettrica avere una opposta direzione. Per la qual cosa chi volesse ammettere in questo caso una corrente termoelettrica, dovrebbe conchiudere che la corrente elettrochimica sia stata in eccesso sulla termoelettrica da potersi osservare sul galvanometro. È inutile il dire che la natura di questa corrente si appalesa anche meglio col galvanometro a filo

(1) V. la mia memoria intitolata: *Esperienze elettrochimiche ordinate a dimostrare lo svolgimento della elettricità nelle combinazioni binarie dei corpi semplici.* Napoli 1850.

lungo. L'altro modo di fare la stessa esperienza è forse anche più spedito. Si ponga il iodo in crogiuolo di platino messo in comunicazione con uno dei capi del galvanometro, e si riscaldi fino alla compiuta fusione, indi scoperto il crogiuolo s'immerga nel liquido una lamina di ferro di argento ec., che per un filo del medesimo metallo stia congiunta all'altro capo del galvanometro, l'effetto sarà anche più intenso, perchè si può operare in tal modo con superficie metalliche più grandi. Queste sperienze, per quanto semplici altrettanto importanti, le ho molte volte ripetute e variate in guisa da credermi in grado di poter tenere come dimostrato, che nella combinazione del iodo col ferro con l'argento ec., il iodo svolge elettricità positiva ed il metallo elettricità negativa.

Risultamenti simili ho avuto anche col bromo.

All'elettroscopio condensatore ho osservato la tensione negativa del sodio che si ossida nell'aria, non che la positiva che si svolge intorno ad esso dall'ossigeno, ma siccome mi si potrebbe opporre che il sodio probabilmente si ossida anche a spese dell'ossigeno de'vapori aquei contenuti nell'aria, così non ne parlo, tacendo del pari di molti fatti dello stesso genere.

2.° Passando ora alle combinazioni binarie de'metalloidi tra loro dirò, trovarsi maggiori difficoltà o per lo modo di combinarsi, o per la poca conducibilità. Chi non sa quanto splendida e pronta sia la combinazione del iodo col fosforo? E pure non si è potuto avere finora in modo preciso alcun segno di corrente o di tensione, ma per poco che si ponga mente al fatto, si vedrà che la corrente esigerebbe una combinazione meno tumultuaria, ed i reofori in relazione distinta co'due corpi anzidetti, i quali come si arrivano a toccare s'infiammano, abbandonano i fili e spariscono, per darvi il prodotto della loro combinazione. All'elettroscopio condensatore presso a poco trovate il medesimo impaccio. Come infatti tenere uno de'corpi in comunicazione col suolo mentre l'altro comunica col piattello inferiore dello strumento? Pure qualche volta mi è riuscito di avere non dubbî segni di tensione elettrica usando di qualche ripiego. Ma voglio dire solo il modo come son riuscito, moderando l'azion chimica, ad ottenere con galvanometro molto sensibile chiare prove di corrente elettrica in siffatta combinazione, corrente che va pel filo dello strumento dal iodo al fosforo. Ecco il modo come ho ordinato l'esperienza. Sopra una lamina di platino ho messo uno stratolino di iodo in polvere, vi ho soprapposto una carta velina, e sopra di questa una sottile falda di fosforo, alla quale ho soprapposto una seconda lamina di platino, e poi con un pezzo di sughero ho premuto fortemente sopra di

questa : essendo le due lamine in comunicazione col galvanometro, ho osservato l' ago deviare a poco a poco fino a che poi giunto il momento della conflagrazione è corso rapidamente ai 90°. Lasciando da banda l' esperienze da me fatte sopra di altre combinazioni, come del fosforo con lo zolfo, e simili, per appigliarmi alle più semplici, ve ne riferirò solamente un'altra che concerne la combinazione del fosforo con l' ossigeno quale spontanea si avvera alla temperatura dell' ambiente. Prendo un pezzettino di fosforo bene asciutto ed infilzato ad un filo di platino lo fo comunicare col piattello inferiore dell' elettroscopio condensatore tenendo a piccolissima distanza dal fosforo una laminetta o spira di platino per mezzo della mano, mentre l'altro piattello dello strumento comunica col suolo, rimossa la lamina di platino ed alzato il piattello superiore dell'elettroscopio, si vedrà la tensione negativa del fosforo. Se vi fate ad osservare la elettricità positiva dell'acido che risulta dalla combinazione del fosforo con lo ossigeno non la troverete, perchè la lamina di platino che fate allora comunicare col piattello inferiore dello strumento, investita da quest'acido prender deve anche elettricità negativa, e questa infatti nell'elettroscopio si ravvisa.

Si può domandare se nella semplice separazione degli elementi chimici di un composto ci sia svolgimento di elettricità, giacchè le antecedenti esperienze riguardano o le semplici combinazioni o separazioni e combinazioni ad un tempo. Per iscomporre un corpo tre mezzi ci sono: 1.° dando luogo a nuove combinazioni per mezzo delle affinità chimiche; 2.° usando la corrente elettrica ; 3.° ricorrendo alle temperature. La elettricità che in molti casi manifestasi nel primo modo non può dirsi che sia il risultamento della scomposizione, perchè si ha combinazione nello stesso tempo. Se gli elementi che si separano per elettrolisi vengano fuori veramente dotati di tensioni elettriche contrarie non può per esperienza dimostrarsi, perocchè l'elettropositivo correndo verso l'elettrodo negativo deve tosto acquistare lo stato naturale, del pari che l'elettronegativo che corre verso il polo positivo. Per cui dal vedere gli elementi che per elettrolisi si separano andando uno verso il polo positivo e l'altro sul negativo, si è argomentato dovere quello possedere elettricità negativa, questo elettricità positiva. Il calorico finalmente restava come la sola via per investigare se nelle scomposizioni si manifestasse elettricità, e molte sperienze furon fatte con risultamenti spesso favorevoli, ma capaci di varie interpetrazioni, e molte volte negativi. Non sarà inutile esporne alcune per vedere in fine a quale conclusione sia lecito pervenire.

Il Pouillet rifacendo alcune antiche sperienze di Alessandro Volta osservò, che versando alcune gocce di una soluzione acida o salina in un crogiuolo di platino rovente, riducendosi il liquido prontamente in vapore nell'abbandonare il sale o l'acido ch' eran disciolti nell'acqua ed i quali restano nel crogiuolo, questo mostrava tensione di elettricità negativa, facendo uso dell'elettroscopio condensatore. E saggiando il vapore aqueo trovò possedere elettricità positiva. Con soluzioni alcaline ebbe gli stessi fenomeni in ordine inverso. Peltier rifacendo le stesse sperienze ha dichiarato l'elettricità manifestarsi solo quando l'acqua combinata col sale lo abbandona, e non mai quando va in vapore quella ch'era soprabbondante.

Menando nel crogiuolo un sale che contenga acqua di cristallizzazione i segni di elettricità si hanno secondo l'autore citato solo quando comincia la decrepitazione. Il Peltier ha fatto uso del nitrato di ammoniaca il quale secondo i chimici è scomposto dall'azione del calorico, e però non ci ha semplicemente separazione dell'acqua, come il fisico francese par che supponga. Il Matteucci non crede da questi fatti potersi concludere che cotesta elettricità derivi dalla scomposizione del liquido pel calorico, ma o dalla ossidazione del platino, o dall'attrito de' vapori contro le pareti del crogiuolo, siccome risulterebbe ancora da alcune sperienze di Reich.

Tanto più che non gli è riuscito di avere segni di tensione elettrica nella scomposizione dell'ossido o biossido di argento, del cloruro d'oro del perossido di piombo ec. mettendo questi composti in crogiuolo di platino rovente. Anch'io ho tentato somiglianti ricerche ed ho avuto quasi sempre segni manifesti di tensione, ma con una certa irregolarità da non permettermi alcuna legittima conclusione, perocchè ho veduto che non solo riscaldando coppe o crogiuoli di platino con la lampada ad acquavite, entra in mezzo quella elettricità di cui più sopra tenemmo discorso, ma anche arroventando il crogiuolo di platino su carboni ardenti, un sensibilissimo elettroscopio condensatore comunicante con esso dà segni di elettricità, sia per le correnti d'aria calda che si destano sia per altra cagione; il certo è che non si può sapere se la tensione che osservasi nello scomporre alcuni corpi debbasi ripetere dalla separazione de' loro elementi o da altra cagione. E poi dato che i risultamenti fossero assolutamente nulli, non potrebbe il calorico essere una cagione perturbatrice o un modo acconcio a neutralizzare gli opposti stati elettrici che si hanno negli elementi che si separano?

A me dunque pare dall'esperienza sufficientemente dimostrato che nelle combinazioni ci sia svolgimento di elettricità con questa legge, che i corpi elettropositivi danno elettricità negativa, e gli elettronegativi elettricità positiva. E se in alcuni casi i nostri strumenti restano in silenzio, non pare che si possa concludere, che non siasi svolta elettricità di sorta, ma che le opposte elettricità abbiano trovati modi più pronti ed acconci per occultarsi o ricomporsi. Onde non deve recar maraviglia se in alcune brillanti combinazioni non si abbia vestigio di tensione elettrica, come per esempio quando il ferro arde nell'ossigeno o lo zinco nell'aria, quando il fosforo si combina col iodo ecc. E veramente chi non sa come prontamente il sodio ed il potassio si ossidano nell'acqua, e pure gettate un pezzettino dell'uno o dell'altro metallo nell'acqua contenuta in una coppa di platino che comunichi coll'elettroscopio condensatore e non ravviserete tensione alcuna se il sodio o il potassio non siano in comunicazione col suolo, perchè senza di questo le due elettricità si ricompongono nel punto in cui si svolgono.

Nella separazione degli elementi poi non sono in nostro potere i mezzi sperimentali per dimostrare gli stati elettrici opposti degli elementi che si separano, ma ci è permesso forse argomentare, che i medesimi abbiano opposte elettricità solo dal vederli diretti a' due poli della pila.

Tali cose premesse si domanda, il contatto solo può mettersi come cagione di elettricità? Fu questo il pensiere del Volta che lo guidò alla scoperta della pila, ma quando fu visto che le azioni chimiche svolgono elettricità, che il verso della corrente dipende dalla natura chimica del liquido per rispetto a'metalli, di modo che solo mutando il liquido si può invertire la corrente, e che la corrente stessa è proporzionale alle azioni chimiche che si avverano nelle cellule della pila, i seguitatori della teorica elettrochimica risolutamente negarono che il contatto fosse di per se solo cagione di elettricità; ma molti in Germania e parecchi ancora in Italia con ingegnose sperienze cercaron di mostrare come in alcuni casi s'abbia elettricità per semplice contatto senza alcuna azione chimica.

Il Volta avea veduto che saldando insieme una lamina di rame ad una di zinco, che tenendo questa doppia lamina con lo zinco fra le dita e mettendola col rame in comunicazione col piattello inferiore dell'elettroscopio condensatore, si raccoglieva elettricità negativa. Gli elettrochimici hanno dato ragione di questo fatto ricorrendo all'azione chimica della traspirazione delle dita sullo zinco, ed anche alla umidità dell'aria. Si son fatti de' condensatori con piattelli di diversi metalli e si è avuta sempre qualche tensione, ma

gli clettrochimici hanno invocato or la lenta ossidazione del metallo, ora la pressione de' piattelli ec.La tensione della pila a secco si è pur ripetuta da lenta ossidazione, e così la quistione si è prolungata. Mi duole di non potervi esporre l'csperienze di Paff, di Marianini, di Peclet, di Belli in favore dell'elettricità di contatto con le osservazioni di Augusto de La Rive della teorica elettrochimica caldissimo propugnatore (1).

Dalle quali sperienze io conchiudo che sebbene la teorica del contatto tal quale fu posta dal celebre inventore della pila non possa più oggi essere difesa, pure non essere assolutamente dimostrato che il contatto non sia cagione di tensioni elettriche, perocchè ci ha de' fatti intorno a' quali è ancor permesso di disputare. E poi se gli elettrochimici consentono nel dire che in alcune congiunture la semplice tendenza all'azion chimica basta a svolgere elettricità statica, è permesso di conchiudere che in que' casi l'elettricità si ottiene col solo contatto.

Ed affinchè vi dichiari tutto il mio pensiere sopra questo difficile argomento, vi riferirò quello che ne scrissi nella mia memoria più sopra citata.

Io dunque son di credere che ogni atomo abbia una elettricità propria e permanente che direi costitutiva dell'atomo stesso, e però dal medesimo inseparabile, di modo che se una volta potessi trovare un atomo di ossigeno senza quella sua elettricità negativa per la quale va a neutralizzarsi con la positiva di due atomi d'idrogeno per formare una molecola d'acqua, io più non lo riconoscerei per ossigeno. Ma siccome ogni corpo non può lungamente conservarsi in uno stato elettrico senza ridursi in equilibrio ossia allo stato naturale, questo negli atomi può in due modi intervenire, o entrando essi in combinazione con atomi di opposta elettricità, o assorbendo per così dire una elettricità opposta dall'ambiente che li circonda nel caso che debbano rimanere isolati, ed eccitando momentaneamente intorno una elettricità omologa fino a che l'equilibrio non sia ricomposto. Così l'ossigeno elettronegativo, nell'elettrolisi dell'acqua raccoglie elettricità positiva, e l'idrogeno elettropositivo, elettricità negativa, e vengon fuori nel voltametro allo stato naturale, occultando tanta elettricità per quanta se ne svolge dalla pila sotto la forma di corrente. Se l'ossigeno nel separarsi dall'idrogeno ha raccolta ed occultata o dissimulata tanta elettricità positiva, che io chiamo accidentale, per quanta ne avea di negativa propria, ossia essenziale ad esso, quando questo entrar

(1) V. Archives de l'Electricité t. I.

deve in combinazione, sia coll'idrogeno sia con altro corpo elettropositivo, è chiaro che dovrà rendere libera quella elettricità accidentale, respinta dall'omologa che trovasi nel corpo col quale entra in combinazione, del pari che questo se era isolato deve svolgere elettricità negativa per le medesime ragioni per le quali abbiamo veduto dovere l'ossigeno dare elettricità positiva. Ma se un atomo di un corpo semplice debba entrare in combinazione con uno o più atomi di un altro corpo semplice che era in combinazione binaria, supponiamo, con un terzo, allora il primo se è elettropositivo dovrà render libera l'elettricità negativa a se accidentale, ma il secondo separandosi elettronegativo dalla combinazione non svolge direttamente alcuna elettricità, sì bene il terzo elettropositivo che supponiamo rimaner libero, dovendo prendere da' corpi che lo circondano elettricità negativa accidentale per tornare all'equilibrio, deve manifestare intorno a se elettricità positiva. Questo per lo appunto deve accadere nelle cellule della pila ad un liquido salvo sempre le azioni secondarie. Immaginiamo infatti di avere una coppia della pila alla Smee composta di zinco platino ed acqua acidolata con acido solforico, e supponiamo da prima che il liquido non avesse acido solforico ma pura acqua.

Allora gli atomi di zinco che entrar debbono in combinazione con l'ossigeno dell'acqua assumendo la loro elettricità essenziale positiva, smetter debbono l'accidentale negativa la quale si mostrerà libera sulla massa residua, e gli atomi di ossigeno separandosi dall'idrogeno portan seco la loro naturale elettricità negativa che va a neutralizzarsi con la positiva degli atomi di zinco: l'idrogeno intanto elettropositivo converrà che prenda lo stato naturale dissimulando la propria elettricità a spese della massa che lo circonda ch'è il liquido ed il platino, i quali perciò debbono comparire positivamente elettrizzati, perchè han ceduto elettricità negativa. Aggiungete all'acqua l'acido solforico e ripetete tra l'ossido di zinco e quest'acido il medesimo ragionamento, ed avrete una nuova forza cospirante con la prima. Quindi s'intende perchè quando l'idrogeno si svolge sul platino la corrente riuscir deve più intensa, e inoltre perchè se esso entrasse in combinazione con l'altro elemento della coppia, aver si dovrebbe anche maggiore effetto, perocchè quando l'azion chimica è molto forte spesso l'idrogeno esce dal liquido prima che abbia preso perfettamente lo stato naturale siccome per esperienza sonomi assicurato. A me pare dunque un errore anzi una contraddizione pretendere con alcuni fisici che l'elettricità negativa dello zinco derivi da quella dell'ossigeno, perocchè non solo questa io stimo che debba essere inco-

municabile, immanente, o intransitiva che dir vi piaccia, ma certo chi dice che gli atomi di ossigeno abbiano elettricità negativa dice egualmente che que' dello zinco l'abbiano positiva, perchè dunque non si debbono neutralizzare? Tanto più che questi fisici sostengono, neutralizzarsi l'elettricità positiva delle molecole di ossido di zinco con la negativa dell'acido solforico.

Usando poi le voci di assorbimento di elettricità da'corpi circostanti ed altre simili, non intendo di dare ad esse una significazione letterale, ma le adopero solo come espressioni usate per dire che un corpo non può dissimulare la propria elettricità senza eccitarne momentaneamente ne' corpi vicini. E però per quanto il mio principio si accosti a quello delle atmosfere elettriche ideato dal celebre Ampère, pure limitandosi per quanto è possibile a stare ne' confini delle sperienze, ha meno dell'ipotetico, non avendo la pretensione di sapere la maniera di essere primitiva dell'elettricità nella materia, ma sì bene la legge di sua manifestazione (1).

Con questo principio intanto io veggo chiara la teorica della pila, e nella sua corrente non veggo già un fluido che scorre pe'reofori, ma una serie di azioni molecolari. Intendo perchè chiuso il circuito l'azion chimica nelle cellule comincia o almeno grandemente si rinvigorisce, e trovo finalmente, per non dir tutto, che altrimenti riuscirei lunghissimo, come la semplice presenza di due atomi che abbiano stati elettrici opposti possa dar luogo ad una tensione iniziale da cui viene occasionata l'azion chimica, cagione di nuova elettricità; e così nasce quel che molti fisici hanno per esperienza dimostrato, che la tensione elettrica si appalesa dalla semplice tendenza all'azion chimica, il che in altri termini suona, le tensioni elettriche palesarsi pria che l'azion chimica abbia cominciato, e

(1) Che un corpo elettrizzato torni più o meno prestamente allo stato naturale è un fatto. Che quando un corpo era allo stato naturale e per una cagione qualunque sia costretto a mostrarsi elettrizzato, debba eccitare una elettricità opposta sopra corpi che sono con esso in attenenza, è pure un fatto che comincia ad appalesarsi ne' primi fenomeni dell'elettricità di attrito, onde si avvera che lo strofinato e lo strofinante assumono sempre opposte elettricità. Che finalmente un corpo elettrizzato tende ad eccitare intorno a se una elettricità opposta per dissimulare la propria tensione generando così una tensione omologa, è anche verità di esperienza. In fisica questi fatti si esprimono con un linguaggio che accenna ad una delle due ipotesi di Symmer o di Franklin; or avendo adottato questo linguaggio per esprimermi, non intendo dire che suppongo necessariamente vera una di quelle ipotesi, ma solo che certe leggi generali convengono agli atomi in una maniera alquanto simile a quella onde convengono alle masse,

per tal modo si rompe quel circolo con cui si ponea la corrente effetto delle azioni chimiche e queste effetto della corrente, perchè il primo impulso verrebbe dall'elettricità: appunto come dalla temperatura è occasionata la combustione, la quale poi diviene cagione di altra temperatura; e così sotto un certo aspetto la teorica del contatto dell'illustre inventore della pila avrebbe ancora un lato vero da stare in accordo con la teorica elettrochimica, accordo pur tentato dal Davy. Collocatevi all'altezza di questo principio e supponete per poco che non ci foste salito per la scala dei fatti, non durereste molta fatica a vedere i medesimi rampollare dall'anzidetto principio come tante conseguenze in esso racchiuse. E quando una ipotesi ha queste qualità, riesce nella scienza utilissima non solo per lo insegnamento, ma anche per la investigazione di nuovi fenomeni. Ora mi confido che il principio del quale vi ho tenuto discorso circondato dalle opportune riserve con le quali ve l'ho presentato, sia poco meno che la traduzione de' fatti.

Quando la pila è composta di più coppie,de La Rive pensa, che la elettricità che si svolge nelle cellule si neutralizzi, e solo si traduca in corrente quella che si raccoglie nelle cellule estreme, e neppur tutta,perchè anche una porzione si occulta, e però la quantità di elettricità che si ottiene da una pila di molte coppie è pari a quella che si avrebbe da una coppia sola, ma non così è della tensione,perocchè le molte coppie impediscono alle tensioni polari di neutralizzarsi per la resistenza che oppongono al passaggio dell'elettrico,e quindi lo rendono atto a superare più grandi resistenze o ad attraversare più lunghi circuiti. Onde quando più le coppie sono numerose o il liquido è cattivo conduttore tanto maggiore è la tensione a'poli. Questa tensione poi deve andare scemando verso il mezzo della pila in cui deve diventare nulla.

Ciocchè abbiam premesso ci agevola la spiegazione di alcuni fenomeni che si osservano nella pila.

Se ponete una lamina di zinco puro nell'acqua acidolata con acido solforico voi non avvertirete alcuna effervescenza, il che vuol dire che lo zinco almeno sensibilmente non si ossida,ossia l'acqua non è scomposta.Ponete accanto allo zinco una lamina di platino e le cose resteranno come prima;ma se il platino e lo zinco si portino a contatto fuori del liquido, tosto numerose bolle d'idrogeno annunzieranno la scomposizione dell'acqua. Questo è senza dubbio l'effetto della corrente che circola, per cui prima della scomposizione dell'acqua eravi elettricità statica negli elementi della coppia, ma aprendo il circuito l'elettricità dinamica fa cominciare la scomposizione del liquido. Onde vedete che il primo impulso è dato dall'elettrico all'azion chimica. Ma quella prima elettricità, si

dice dagli elettrochimici puri,nasceva dalla tendenza all'azion chimica: questa mi sembra una risposta futile o almeno troppo metafisica: il fatto è che l'elettricità si appalesa prima che l'azion chimica comincia, e però non può derivare da questa. Ma si soggiunge, l'elettrico si ravvisa quando sono in presenza due corpi i quali tendono combinarsi fra loro: sì io rispondo, perocchè debbono essere uno elettro positivo e l'altro elettronegativo, e però dico che il contatto come tale senza la diversità, o meglio, opposizione delle elettricità essenziali, non è cagione di elettricità.

Vedete dunque che gli elettrochimici puri debbono invocare l'azion chimica per dare ragione della elettricità,e la elettricità per dar ragione dell'azion chimica, avvolgendosi così in un circolo, il quale circolo si rompe se poniamo una tensione che precede le combinazioni chimiche, procedente dalla elettricità propria degli atomi, la quale in sostanza sarà probabilmente quella che forma le affinità.

Lo zinco del commercio amalgamato poi si comporta nell'acqua acidolata come lo zinco puro,e riesce così opportuno nella maggior parte delle pile. Ma d'onde deriva questa proprietà dello zinco amalgamato? Noi forse lo ignoriamo. Faraday crede provenire dal rendersi omogenea la superficie del mercurio; Grove ha detto che il mercurio assorbe l'idrogeno, ed io ho sempre creduto col Matteucci che l'amalgama essendo una combinazione non debba più esser considerata come zinco, ma come un altro corpo godente di alcune qualità sue proprie (1).

Quando i poli della pila si congiungono con reofori più sottili o più lunghi,supponendo la materia la stessa,la corrente si fa più debole e l'azion chimica nelle cellule della pila anche s'infievolisce. Anzi dimostrasi essere la corrente proporzionale all'effetto chimico prodotto nella pila.

Per la qual cosa supponendo la pila composta di zinco amalgamato e platino avente per liquido acqua acidolata con acido solforico,ne segue aversi un'unità di elettricità negativa per ogni equivalente di zinco che si ossida, ed un'altra di elettricità positiva per ogni equivalente d'idrogeno che si svolge libero sul platino.

Ciò posto è agevole intendere quello che avviene nelle varie pile di cui abbiamo altrove discorso.

(1) La ragione poi per cui l'acqua si scompone con lo zinco del commercio senz'avere bisogno di congiungerlo con un metallo meno ossidabile par che derivi dalla impurità stessa dello zinco, per cui i punti meno ossidabili fanno le veci dell'altro metallo svolgendo l'idrogeno sopra di loro, e neutralizzando le opposte elettricità che si separano, d'onde la maggiore efficacia dello zinco amalgamato.

Nella pila di Daniel si scompone l'acqua ed il solfato di rame nel modo che di sopra fu detto, e si ha ossidazione dello zinco da una parte e represtinazione del rame dall'altra, cagioni perciò di elettricità negativa sullo zinco e positiva sul rame. Il rame repristinandosi sulla lamina dello stesso metallo, non solo fa che questa non subisca ossidazione come farebbe se pescasse nell'acido allungato, siccome interviene nella pila di Wollaston, ma non svolgendosi in fluido aeriforme come farebbe l'idrogeno, deve mettersi allo stato naturale interamente a spese della lamina sulla quale si mostra, il che, secondo mi penso, è la ragione della maggiore efficacia a petto dell'altra pila testè menzionata. La maggior durata e costanza della corrente poi par che derivi dalla continua sostituzione dell'acido solforico a quello che si combina coll'ossido di zinco, per effetto della continua scomposizione del solfato di rame.

Nella pila di Bunsen si ha al solito ossidazione dello zinco e quindi solfato di zinco, ma l'idrogeno nascente della scomposizione dell'acqua va ad incontrare l'acido nitrico cui toglie una parte del suo ossigeno, rimanendo il liquido, e quindi il carbone che fa da semplice conduttore, in istato di elettricità positiva.

Dite lo stesso per la pila di Grove.

LEZIONE XX.

CAGIONI FISIOLOGICHE.

Da gran tempo sapeasi la virtù di alcuni pesci di dare la scossa, e par che tutti avessero avuto il nome di *torpedini*. Il più potente fra questi non potè esser noto agli antichi perchè vive in America, ed è il ginnoto o anguilla del Surinam (*Gyimnotus electricus*). Il meglio studiato poi è la torpedine (*Raia Torpedo*) che trovasi nei nostri mari verso le foci de'fiumi: il *Silurus electricus*, il *Tetrodon electricus*, il *Trichiurus electricus* non sono stati obbietto, per quando mi sappia, di peculiari ricerche, come il ginnoto e la torpedine.

Presa la torpedine tra le mani si hanno scosse a' polsi ed alle braccia come se si toccassero i poli di una pila a colonna di circa 100 coppie: queste scosse ripetendosi s'indeboliscono, e l'animale ha bisogno di nutrimento e di riposo per riacquistare l'antico vigore. Fuori dell'acqua le scosse sono più vigorose, ma si hanno eziandio immergendo una o ambo le mani nell'acqua della vasca in cui la torpedine si trova. Ed i pescatori sanno che si ha la scossa

versando l'acqua sulla torpedine. Si crede ch'essa si giovi di questo mezzo per fulminare a distanza i piccoli pesci che deve mangiare, giacchè la scossa è un fenomeno volontario, potete perciò, specialmente quando il pesce è stanco, toccarlo talvolta senza esserne scossi, in questo caso volendo provare il curioso e singolare fenomeno è mestieri pungere o irritare l'animale.

Dite lo stesso del ginnoto il quale suole avere più forza della torpedine.

Toccando cotesti pesci con corpi conduttori si può sempre avere la scossa la quale non si ha toccandoli con corpi coibenti.

Dopo la scoperta della boccia di Leida i fisici non tardarono a conchiudere essere la elettricità la cagione della scossa che si ha dalla torpedine, dal ginnoto ec., e tutti coloro che ebbero occasione di potere sperimentare sopra cotesti pesci cercarono le prove sperimentali di tale conclusione, le quali l'una dopo l'altra partorirono la più lucida evidenza, di modo che oggi può tenersi come pienamente dimostrato, essere in siffatti pesci una elettricità la cui origine è interamente fisiologica. È per fermo, le rane preparate secondo l'uso, poste sulla torpedine si contraggono nel momento in cui l'animale dà la scossa, il galvanometro annunzia la scarica con forte deviamento quando i suoi capi in platino siano messi particolarmente in comunicazione uno col dorso e l'altro con la pancia e la corrente va pel filo da quello a questa, e se i capi di una piccola elica di filo metallico comunichino col dorso e con la pancia dell'animale, quando avviene la scarica, un piccolo ago di acciaro posto nell'elica sarà calamitato.

Ma il fenomeno più spiccato e convincente dovea essere certamente la scintilla, e questa si ebbe la prima volta da Walsh dal ginnoto facendo passare la scarica per un nastro di foglia di stagno incollato sopra un vetro ed interrotto in un punto. Il Matteucci immaginò di averla dalla torpedine mercè l' estracorrente, ed il P. Linari l'ebbe infatti la prima volta in questo modo; poi tanto egli quanto il Matteucci l'ebbero di corrente primaria: tutto sta ad interrompere il circuito nel momento in cui la scarica passa per un filo metallico corrispondente a due armature o lamine, una messa sul dorso e l'altra sotto la pancia. Finalmente anche gli effetti chimici sonosi avuti dalla scarica della torpedine da mostrare, come testè dicevamo, essere la scossa indubitatamente un fenomeno elettrico.

Cotesta virtù di dare delle scariche procede ne' pesci scuotenti da un organo particolare di cui sono dotati il quale ha ricevuto il nome di *organo elettrico*, la cui descrizione anotomica per alcuni di

essi è stato obbietto di studi al nostro professore delle Chiaje, al Savi, al Matteucci ed a molti altri, ma finora non si è potuto rassomigliare senza sforzo ad alcuno de'nostri strumenti. Quest'organo si divide, almeno nella torpedine e nel ginnoto, in due parti simmetriche, e vi si diramano de'nervi i quali irritati, quando l'organo è asportato destramente da una torpedine viva, danno ancora delle deboli scariche sensibili specialmente per le rane. E se dopo cessata questa efficacia si faccia passare pe' detti nervi la corrente elettrica, ritorna nell'organo il potere di scuotere le rane tanto con la corrente diretta quando con la inversa, e dopo solo al cominciare della prima ed al cessare della seconda, ma ricordatevi che qualche fenomeno somigliante si ha eziandio con la rana che abbia i nervi crurali poggiati sopra i muscoli di un'altra i cui nervi sono eccitati dalla corrente.

Ha veduto poi il Matteucci che si possono asportare i lobi ottici, i lobi olfattori ed il cervelletto senza che l'animale perda la virtù di dare le scariche, nè irritando i medesimi prima di esser tolti si ottiene la scossa; ma come si tocca il quarto lobo che il Matteucci denomina *lobo elettrico*, le scariche tosto intervengono, e sarà la parte destra o sinistra dell'organo che dà la scarica, secondo che si tocca la parte destra o sinistra di questo lobo del cervello.

Se la torpedine si ponga in acqua ad una temperatura prossima allo zero, perde la virtù di scuotere riacquistandola ad una temperatura di 15 in 20°. Messa poi in acqua alla temperatura di 30° muore dando moltissime scariche.

Il ginnoto presenta i medesimi fenomeni elettrici della torpedine, ma con intensità maggiore. Esso ha la forma di una grossa anguilla con la pelle screziata di alcune macchie giallicce sulla quale distinguonsi i numerosi dotti escretori di una specie di moccio che la ricopre. Ha una pinna sotto la coda che comincia dall'ano il quale è a poca distanza dal capo, per cui è molto lunga. La parte del pesce vicina al capo è positiva per rispetto alle parti che sono alla coda. Una di queste anguille venuta in dono al Museo Zoologico della nostra Università mi porse l'occasione di farvi alcune sperienze, ma in pochi giorni morì, un'altra venne regalata al nostro Sovrano e fu studiata dal prof. Paci: quando morì questa seconda il professore delle Chiaje ne preparò l'organo elettrico, e ne pubblicò la descrizione del Rendiconto della nostra R. Accademia delle scienze.

L'organo elettrico che trovasi sul dorso della torpedine, e quasi sulla intera lunghezza del ginnoto sempre distinto in due parti simmetriche, in ultimo risultamento componesi di numerose vesci-

chette distribuite in diversi raunamenti e ripiene di un liquido denso composto di acqua, albumina e cloruro di sodio. Non si sa se in quest'organo la elettricità si elabori o si raccolga, il certo è che dopo molte scariche l'animale perde la sua efficacia per un certo tempo, e che l'organo anzidetto ha bisogno del concorso dei nervi, senza de'quali mancherebbero le sue elettriche funzioni. Noi, come di sopra dicemmo, non possiamo affermare che sia una batteria, un condensatore, una pila, o un apparecchio d'induzione, ma crediamo che la sua vera natura ci sia ancora ignota.

Or si domanda, e negli altri animali ci ha eziandio una elettricità procedente da cagioni fisiologiche? E che deve dirsi delle piante?

Ecco un argomento sul quale si è molto studiato, ma ingombro tuttavia di mille difficoltà e circondato da non poche dubbiezze.

Fu creduto circolare per le membra degli animali delle correnti elettriche le quali non si appalesano quando non vi sia un organo collettore come ne'pesci de'quali testè tenemmo discorso, e quindi furono esplorati nervi e muscoli di animali vivi o morti di fresco, specialmente dopo la invenzione del galvanometro, per dimostrare la esistenza delle bramate correnti. Il Nobili trovò che una rana di fresco preparata messa a cavalcioni sopra due bicchieri, in modo che peschi co'piedi e con la spina in acqua salata ne'medesimi contenuta, dà una corrente diretta da' piedi al tronco, quante volte nei due bicchieri s'immergono i capi estremi del galvanometro ridotti in lamine di platino, e questa la disse *corrente propria della rana*, ma voi vedete che qui non è possibile evitare il dubbio che nasce naturalmente nell'animo per le azioni chimiche.

Puccinotti e Pacinotti sperimentarono sugli animali vivi, ed ebbero correnti per lo più dirette dal cervello a' muscoli. Essi introducevano due lancettoni di platino ben lavati comunicanti coi capi di un galvanometro, uno nel cervello ed un altro in un muscolo di un animale vivo, un coniglio, un piccione ec. Queste correnti par che pigliassero maggior lena quando l'animale si agitava e scemassero alquanto in que'momenti in cui rimaneva come oppresso ed abbattuto. Qualche volta mutavano direzione. Essi le dissero *elettrovitali*, perchè le credettero o in servizio della vita, o almeno effetti delle funzioni fisiologiche. Ma una commissione di fisici incaricata di osservare cotesti fenomeni osservò le medesime correnti, comunque più deboli, aversi ancora sperimentando sugli animali morti di fresco, e per fino introducendo i lancettoni di platino in un pezzo di cervello ed in un altro di carne muscolare messi a contatto. Quindi non parve potersi quelle

correnti denominare elettrovitali, e giustamente tornarono i dubbi della loro origino elettrochimica.

Si sono introdotti gli scandagli galvanometrici di platino in un medesimo tronco nervoso e sonosi avute delle indicazioni momentanee che non hanno dato diritto ad alcuna conseguenza legittima. Io proporrei d'introdurre cotesti scandagli in un grosso nervo appositamonte preparato sopra un grande animale vivo, e quando l'ago, è fermo recidere il nervo tra i due scandagli con vetro tagliente o con pietra focaia, cioè senza contatto metallico, per vedere se in quel momento la sospettata corrente nervosa, perduto il camino naturale ad essa assegnato, percorresse il filo galvanometrico.

Il Matteucci confessando di non aversi certezza della esistenza di correnti nervose, tiene per fermo potersi rendere aperte le correnti muscolari, e per evitare il contatto de' metalli con le parti dell'organismo vivente abbandona il più delle volte il galvanometro e ricorre alla *rana galvanoscopica*, prende cioè una mezza coscia di rana col nervo sporgente, questa la colloca in un cannello di vetro lasciando di fuori il lungo tronco nervoso;è chiaro che se questo nervo chiuda un circuito qualunque, i rimanenti muscoli della coscia col loro contrarsi annunzieranno il passaggio della corrente. Ciò posto se tolti i comuni integumenti si faccia una ferita in un muscolo di un animale vivo e due punti del nervo della rana galvanoscopica tocchino due punti diversi di cotesta ferita, si vedrà la rana contrarsi, il che secondo il Matteucci è la prova dell'esistenza di una corrente muscolare, ma notato che le contrazioni si hanno anche sugli animali morti e su muscoli separati dall'animale. Questi fatti non son tali da rimuovere ogni dubbio sulla vera origine di tali correnti. Il galvanometro con scandagli di platino anch'esso annunzia correnti che dall'interno della ferita o del muscolo vanno all'esterno,e Dubois Reymond di Berlino ha determinato alcune speciali sezioni no' muscoli che ha denominato longitudinali e trasversali,cui applicati i reofori meglio si possono ravvisare le correnti (1).Il Matteucci ha fatto delle pile con sole mezze cosce di rane, con muscoli e nervi, con muscoli pettorali di piccioni vivi ec.,ma da tanto ingegnose sperienze del professore pisano e dell'altro berlinese si può solo conchiudere essere sommamente probabile che ci siano correnti muscolari, come è possibile che ce ne siano eziandio ne' nervi,ma i mezzi di trovarle che la scienza finora possiede non valgono a renderle evidenti, ed a

(1) V. l'opera di lui intitolata: *Untersuchungen über thierische Electricität*. Berlino, 1849.

metterle a coperto di qualunque obbiezione, come le contrazioni della rana senza l'uso di alcun metallo a'tempi del Galvani non valsero a ridurre Alessandro Volta in silenzio.

Dubois Reymond annunziò son pochi anni un fatto che parea mettere in piena evidenza le correnti che si svolgono per le contrazioni volontarie de'muscoli, ma i fisici non seppero assolutamente contentarsene. Ecco in che consiste l'esperienza del fisico alemanno. In due bicchieri con entro acqua salata si fan pescare due lamine di platino messe in comunicazione con un sensibilissimo galvanometro a filo lungo, indi un dito della mano destra s'immerge in uno di questi bicchieri ed un dito della sinistra nell' altro, tosto l'ago devierà un poco e poi o si fermerà a zero o serberà un piccolissimo deviamento costante; allora si contraggano i muscoli di un braccio, proccurando a non muovere il dito corrispondente che sta nel liquido, e si vedrà il galvanometro annunziare una piccola corrente che va diretta dalla mano verso la spalla del braccio in cui i muscoli si contraggono. Si è cercato d'immergere le dita egualmente, di tenerle immobili ec. per togliere i sospetti dell'azion chimica come cagione del fenomeno; ma notate che se i bicchieri invece di unirsi con le braccia si uniscano con un lucignolo di cotone bagnato dello stesso liquido contenuto ne' bicchieri, l'ago del galvanometro pur si muove; e poi contraendo i muscoli di un braccio, sempre potrà avverarsi un piccolo moto nel dito che sta nel bicchiere corrispondente, la temperatura di questo braccio per lo sforzo si eleva un poco, la traspirazione può divenire un poco più copiosa, e tutto questo può bastare a rendere diversa l'azione del liquido sopra ciascuna delle due lamine di platino, onde la corrente va per quella direzione per la quale andrebbe appunto se una delle lamine patisse un' alterazione maggiore dell'altra.

Niente di più agevole dunque quanto il ritrovar correnti nell'organismo animale, ma nulla di più malagevole quanto il diffinire siffatte correnti. Sono esse elettrofisiologiche o elettrochimiche? Procedono dall'azione degli elementi dell'organismo sopra i corpi che si mettono con essi in contatto per esplorarle, o sono la conseguenza delle reazioni chimiche degli elementi medesimi? O che vale lo stesso, nascono coteste correnti quando si formano i circuiti co'corpi esploratori, o sussistevano nell'organismo? Ecco prima di tutto delle domande alle quali la scienza non ancora può dare risposte sicure, dalle quali potrebbero poi nascere altre domande che stimo inutile di proporre.

Le molte sperienze fatte per cercare le correnti nelle piante menano alle medesime conclusioni. Il Pouillet avrebbe trovata la ve-

getazione come sorgente di elettricità statica, ma si vorrebbe che altre sperienze ne rifermassero l'esistenza.

LEZIONE XXI.

USI MEDICI DELL'ELETTRICITA'.

Molto prima della invenzione della macchina elettrica i medici prescrivevano l'applicazione della torpedine in alcune infermità e specialmente pel dolore di capo, siccome si raccoglie da Scribonio Largo. Dopo la invenzione della macchina elettrica e della boccia di Leida si usò il bagno elettrico o la scossa in parecchie congiunture. Alla soverchia fiducia che i medici riposero in quei primi modi di amministrare siffatto rimedio, poche volte l'esito avendo corrisposto, successe una certa diffidenza per la quale di rado e solo dopo esaurito ogni altro argomento si fece ricorso alla scossa. Le speranze rinacquero con la invenzione della pila, ma solo in questi ultimi tempi si son cominciate a conoscere le leggi con le quali l'elettrico opera sulla economia animale, e quindi sonosi ricavate alcune regole per farne l'applicazione alla cura di certe malattie.

Paralisi. Quando la paralisi non sia sostenuta da lesioni o da stimoli estrinseci a'nervi, si può tentarne la cura con le correnti elettriche. La corrente diretta continua, passando per un certo tempo pe' nervi crurali della rana dà alla gamba della medesima tutto l'aspetto di un membro parallizzato, or questa paralisi si toglie con la corrente inversa, quindi l'idea razionale dell'applicazione di questa corrente nelle paralisi di moto. Si sa poi che la corrente interrotta con frequenza fa presto morire la rana, e se le scosse sono più forti, si uccidono in breve tempo anche animali più grandi come gatti, conigli ec. purchè però le interruzioni e gli attacchi non siano troppo frequenti, giacchè quando le scosse fossero di circa 300 a minuto secondo, le correnti successive assumeranno per l'animale l'aspetto di corrente continua. Ma se l'animale sia sottoposto per poco tempo alle scosse di una corrente interrotta a brevi intervalli, senza toccare quel limite delle 300 scosse a minuto secondo, si nota un aumento di eccitabilità nervosa; quindi l'uso della corrente inversa interrotta. L'apparecchio d'induzione sopra descritto riesce dunque a quest' uso molto accomodato. Ce n'ha anche di quelli che invece della pila portano la calamita per circuito inducente, e somigliano all'apparecchio di Clarke.

Nelle paralisi di senso si crede convenire la corrente diretta, interrotta come sopra.

Nella paralisi del canale alimentizio potrebbe convenire anche la corrente continua.

Nelle paralisi de'nervi de' sensi come nelle amaurosi, nella sordia ec. si contano de'casi di guarigioni, ma forse meno frequenti e sicuri.

Il prof. Namias che ha curato molte paralisi con l'elettricità, novera tra i suoi casi una bellissima e giudiziosa cura di paralisi di vescica. Io curai una clorotica direttami dal prof. Folinea alla quale tosto riapparvero le funzioni sparite.

Nevralgie. Il Magendie conta mirabili cure fatte con l'apparecchio di Clarke, usando in pari tempo l'agopuntura per dirigere la corrente secondo le diramazioni de' nervi ch'eran sede del dolore. Nella maggior parte de' casi la corrente si diffonde senza percorrere i nervi che si vogliono curare, e però ottimo deve tornare l'uso dell'agopuntura.

Reumi. I reumi con dolore spesso cedono all'uso delle correnti alternative e discontinue; ne ho prove irrecusabili.

Aneurismi. La proprietà della corrente continua di coagulare l'albumina fece proporla come mezzo per formare un grosso grumo nel sacco aneurismatico,facendo le veci della legatura dell'arteria. S'ebbe qualche caso felice ed altri seguiti da morte per cancrena.

I reofori della pila terminati in aghi di platino debbono introdursi nella cavità dell'arteria dilatata per proccurare il grumo a più riprese. Ecco quali sono le difficoltà della esecuzione.

1.° Una gran parte della corrente non passa pel sangue, al che si rimedia in parte verniciando gli aghi,rimanendone solo le punte scoperte.

2.° L'infermo è tormentato dalle scosse ne' momenti in cui si apre o s'interrompe il circuito, e questi effetti fisiologici possonsi alquanto attenuare ma non rendere nulli, perocchè la forza chimica che si vuole nella pila va essenzialmente congiunta con la potenza fisiologica.

3.° Gli effetti più nocivi della corrente per l' infermo sono i fisici, cioè il riscaldamento degli aghi di platino, e questi converrebbe attutirli con l'uso della neve intorno a' medesimi.

Dal che segue potersi con molto accorgimento riuscire a formare un grumo negli aneurismi di piccoli vasi, ma esser molto difficile andare allo scopo quando si tratti di grandi cavità delle maggiori arterie.

Non vi parlerò di cure di membra attratte, di torpori, di tumo-

ri ec. fatte talvolta con l'uso delle correnti, perchè non si hanno casi bastanti a togliere ogni dubbio. Tacerò pure de' tentativi per isciogliere la pietra in vescica, come quelli che son circondati da difficoltà forse insuperabili, e solo vi dirò che le molte cure fatte dal Marianini, dal Namias ed altri, specialmente per le paralisi, son tali da dover porre le correnti elettriche tra i rimedî de' quali il medico deve disporre nella cura degl'infermi.

Aggiungo finalmente essere molto propabile che la corrente continua possa valere come rimedio nella cura del tetano, quantunque non conosca di essersi tentata da altri fuorchè dal Matteucci in un caso di tetano traumatico, il quale caso è in favore di siffatta probabilità.

Gli strumenti poi de'quali il medico deve esser provveduto sono, un apparecchio d'induzione pe' casi in cui ha bisogno della corrente discontinua, ed una pila di molte coppie per le occorrenze della corrente continua.

Nel sottoporre gl'infermi al trattamento elettrico si badi a cominciare con correnti molto deboli, perocchè ci ha degl' individui che non saprebbero senza pericolo tollerare scosse tenuissime. Ho visto tornare le convulsioni epilettiche ad un giovane che da tre anni se n'era liberato, solo per avere imprudentemente presa una scossa. Conosco una signora che fu presa da convulsione e rimase orba di vista per più tempo, per aver ricevuta una scintilla elettrica sul collo. Conviene poi insistere per molti giorni nell'uso delle correnti applicandole una o due volte al giorno.

Non vi parlo di alcune catene galvaniche che si applicano sul corpo degli ammalati, e vi si tengono per lungo tempo, perchè le credo di rara o nulla efficacia.

LEZIONE XXII.

TEORICA DI OHM — MISURA DELLE CORRENTI. — VELOCITA' LORO.

Le leggi delle correnti elettriche furono per via di considerazioni teoriche esposte da Ohm fin dal 1827 in una sua opera intitolata: *Delle leggi matematiche della pila galvanica*; ma come quelle formole non erano confortate dall'esperienza, così l' opera del fisico alemanno rimase per qualche tempo poco avvertita. Il Pouillet più tardi ripigliò l'argomento dal lato sperimentale e pervenne a formole e quindi a leggi identiche a quelle puramente razionali di Ohm, e dopo Fechner, Buf e molti altri ripetendo ed allargando le investigazioni e le sperienze sopra questo subbietto, hanno data una teorica compiuta delle leggi che governano la

quantità e la tensione delle correnti secondo la diversa natura dei circuiti pe' quali passano e ne' quali si svolgono.

L'altezza dell'argomento richiederebbe il potente sussidio delle formole, e però io non posso pe' limiti che ho assegnato alle mie lezioni esporvi questa teorica in tutta la sua ampiezza. Debbo dunque contentarmi di esporvene alcune verità più capitali al meglio che possa riuscirmi.

E prima di tutto ricordatevi che notammo più sopra, la corrente scemare e con essa anche l'azion chimica nella pila se i poli di questa si congiungono con fili più lunghi o più sottili, supposta la materia la stessa, così parimente scemerebbe se il filo rimanendo delle stesse dimensioni fosse solo meno deferente per diversità di natura. Da ciò dunque dovete conchiudere che le correnti incontrano percorrendo i circuti una certa resistenza che cresce con la minore sezione del filo, con la maggiore lunghezza del medesimo e con la minore conducibilità della materia ond'esso è formato. Or quantunque la pila sia essa stessa la sorgente dell'elettricità pure quando il circuito è chiuso fa parte di questo, e secondo che varî la sua natura può presentare essa stessa, come vedremo, anche una resistenza.

Prendiamo prima di tutto una coppia termoelettrica composta di un cilindro di bismuto alle cui basi siano saldati due fili di rame e le due saldature si tengano ad una costante differenza di temperatura, una p. e. a 0° e l'altra a 100°, onde s'abbia una corrente costante, voi potrete dimostrare la seguente proposizione. *Per un medesimo filo la intensità della corrente è in ragione inversa della lunghezza del circuito.* Supponete che i due capi del filo di rame abbiano la lunghezza totale di un metro e che nel chiudere il circuito passino sopra un telaio galvanometrico facendovi un giro solo e l'ago devii per 5°; se il filo si faccia di 10 metri e quindi faccia dieci giri sul medesimo telaio, si avrà nell'ago il medesimo deviamento di 5°, il che vuole dinotare che in questo secondo caso il circuito essendo diventato dieci volte più lungo (potendosi trascurare la parte rappresentata dal cilindro di bismuto, come meglio vedremo) la corrente è diventata dieci volte meno intensa, ma perchè ha girato dieci volte intorno all'ago del galvanometro, vi ha prodotto lo stesso deviamento, ossia è sembrata della stessa intensità.

Se il filo poi conservando la stessa lunghezza ed essendo della stessa materia diventasse più sottile da avere la metà per esempio di sezione, si trova che la corrente riducesi anche alla metà della intensità primitiva, ossia la sua intensità è in ragion diretta della sezione del circuito. Di modo che col fare il filo di doppia lun-

ghezza ma di doppia sezione la corrente rimane della stessa intensità. Da ciò segue che la elettricità dinamica percorre la massa dei conduttori e non va per superficie come la elettricità di tensione.

Con fili delle medesime dimensioni, ma di diversa materia, o anche della stessa materia in condizioni molecolari diverse,le correnti mostransi or più or meno intense,il che sicuramente procede dalla diversa conducibilità;per cui se con due fili dello stesso diametro e di diversa materia s'abbiano intensità eguali, essendo uno due volte più lungo dell'altro, convien dire che il primo sia due volte meglio conduttore del secondo, ossia le conducibilità sono come le lunghezze. Or siccome nessun corpo è assolutamente conduttore così tutti presentano alle correnti una resistenza che cresce tra le altre cose con la minore conducibilità.

Dalle cose dette s'intende come si possano paragonare le conducibilità de' diversi corpi, prendendo per unità quella di un corpo qualunque, perocchè se due fili abbiano lo stesso diametro con diversa lunghezza e la corrente serbi la stessa intensità, le conducibilità saranno come le loro lunghezze, e se avranno eguali lunghezze le conducibilità saranno in ragione inversa delle sezioni.

Per tal modo il Pouillet ebbe i risultamenti che seguono per parecchi metalli.

Mercurio	100
Ferro	da 600 a 700
Acciaro	500 ad 800
Ottone	200 a 900
Platino	850
Rame	3800
Oropuro	3900
Argento fino	5200
Palladio	5800

I liquidi sono assai più cattivi conduttori de' metalli di modo che il rame condurrebbe l'elettrico 16 milioni di volte meglio di una soluzione satura di solfato di rame, secondo il Pouillet, e quindi migliaia di milioni più dell'acqua distillata.

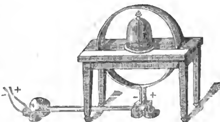
Si dicono correnti di eguale intensità quelle che generano il medesimo deviamento sullo stesso ago calamitato messo nelle medesime condizioni; ma non si direbbe doppia la corrente che generasse un deviamento doppio, ossia le intensità delle correnti non sono proporzionali agli angoli di deviamento.

Ci ha degli strumenti la cui mercè le intensità delle correnti si possono misurare,perchè ci ha un' attenenza tra esse e gli archi di

deviamento, espressa mercè valori trigonometrici. Questi strumenti sono la bussola delle tangenti e la bussola de' seni.

Bussola delle tangenti. Essa è dinotata dalla figura (*fig.* 230) ed è formata da un gran cerchio di lamina di rame che si ripiega nella parte inferiore in due appendici che si fanno comunicare co'poli della pila mercè due pozzette di mercurio. Questo cerchio va collocato nel meridiano magnetico e nel suo centro trovasi il cappelletto di un ago di declinazione bilicato sopra una punta o sospeso ad un filo di bozzolo, il quale ago deve essere molto corto per rispetto al diametro del cerchio, ed affinchè i gradi di deviamento possano essere più grandi l'ago porta in croce un indice leggiero molto più lungo. Ciò posto dimostrasi le intensità delle correnti essere proporzionali alle tangenti degli archi de'deviamenti da esse generati.

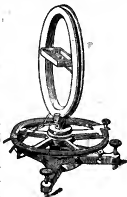
FIG. 230.



Se dunque avrete le tavole che esprimono i valori trigonometrici delle tangenti per tutti gli archi da 0° fino a 90°, potrete anche senza avere studiatò la trigonometria comparare le intensità delle correnti. Interponendo tra la pila e questo strumento de' gomitoli di fili metallici di varie lunghezze e diametri potete poi verificare le leggi di sopra esposte.

La proporzione tra le intensità delle correnti e le tangenti degli archi di deviamento sussiste meglio in ragione che il raggio del cerchio sia più grande per rispetto alla lunghezza dell'ago. Pure secondo ricavasi da un dotto lavoro del P. Secchi, e da alcune ricerche posteriori del Despretz, bisogna mantenersi entro un certo limite, e non andare a'deviamenti troppo grandi.

FIG. 231.



Bussola de' seni. Sopra un cerchio di legno verticale con apposita scanalatura (*fig.*231) si avvolge ad uno o più giri un grosso filo di rame per lo quale deve passare la corrente; nel centro di questo cerchio trovasi, del pari che nella bussola delle tangenti un ago, calamitato. Se

non che il cerchio anzidetto è mobile intorno al suo asse verticale, ed un secondo cerchio azimutale è ordinato a misurare gli angoli che si fanno fare al primo partendo dal meridiano magnetico. Quando dunque il cerchio verticale è nell' anzidetto piano, passando la corrente, l'ago sarà deviato; allora il cerchio si farà girare in modo che l'ago si trovi sempre nel piano del medesimo. Le intensità delle correnti in questo caso sono proporzionali a'seni degli archi de' deviamenti che misuransi col cerchio degli azimut.

Dalle cose dette vedete che i deviamenti galvanometrici non esprimono la misura delle intensità delle correnti se non per mezzo di formole troppo intricate e forse anche non ben sicure per la pratica, perocchè il galvanometro non può paragonarsi ad alcuna delle due bussole innanzi descritte, e però è mestieri comporre per ciascun istrumento una tavola in cui i gradi di deviamento sian tradotti in gradi proporzionali. Quando per altro gli archi sono molto piccoli possono tenersi come proporzionali alle intensità.

Il Pouillet volle sapere se la intensità delle correnti fosse la stessa cosa della quantità di fluido elettrico che passa in un dato tempo per un circuito, è mercè l'uso di una ruota con denti alternativamente di avorio e di metallo potè fare che la stessa corrente passasse solo per la metà del tempo attraverso una delle bussole testè descritte, e vide la intensità ridursi alla metà di quello che era prima.

Ciò premesso ecco la più importante proposizione che ricavasi dalla teorica di Ohm. *La quantità di una corrente in una coppia è in ragione diretta della forza elettromotrice di questa ed in ragione inversa della resistenza della medesima* (1). Per forza elettromotrice intendendo la cagione qualsiasi che dà origine alle correnti. Quindi se si abbiano più coppie perfettamente eguali la quantità della corrente crescendo da una parte col numero delle coppie e la resistenza dell'altra nella medesima ragione, ne segue che in fine la quantità della corrente della intera pila eguaglia quella di una sola coppia, il che rifermerebbe il principio di De La Rive di sopra esposto. Ciò per altro va inteso nel caso che i poli della pila fossero messi ad immediato contatto, ossia supponendo il circuito formato dalla sola pila, ma se i poli di questa si congiungano mercè altri corpi conduttori uopo è tenere conto della

(1) Onde dicendo Q la quantità della corrente, E la forza elettromotrice ed R la resistenza della coppia, si avrà $Q=\frac{E}{R}$, e supponendo un numero n di coppie in tutto uguali e simili, si avrà $Qn=\frac{nE}{nR}=\frac{E}{R}$.

resistenza di questi, ed allora la quantità della corrente di una coppia non potrà più dirsi eguale a quella della intera pila (1).

Quando la pila è di molte coppie, generalmente parlando, la corrente non guadagna in quantità ma in tensione, ossia diviene atta a percorrere circuiti di maggiore resistenza, forse perchè le due elettricità accumulate a' poli della pila non possono ricomporsi attraverso la medesima ritrocedendo indietro, siccome pensa de La Rive, per la molta resistenza che incontrano, e preferiscono di percorrere un lungo circuito. Infatti le tensioni statiche a' poli si hanno sempre più intense quando il liquido della pila è peggior conduttore, d'onde la grande tensione a'poli della pila di Gassiot, della quale di sopra è detto.

Iacobi ha dimostrato che la corrente di una pila genera il massimo effetto nel circuito che ne congiunge i poli, quando la resistenza di questo sia eguale a quella della pila.

Ma come si determina la resistenza della pila, o quella di un conduttore interpolare qualunque? Cotesta resistenza deve riferirsi ad una unità; or per unità di resistenza si sceglie quella dell'unità di lunghezza di un filo metallico di un determinato diametro, per esempio un metro di filo di rame del diametro di un millimetro, e poi si cerca a quanti metri di questo filo equivale la resistenza della pila o di un conduttore interpolare qualunque, e si ha ciocchè dicesi la *lunghezza ridotta*. Così direte la resistenza di una coppia per esempio essere eguale a 5^m di filo di rame della grossezza di un millimetro, se la corrente incontra passando per questa la stessa resistenza che le verrebbe opposta da un filo di rame della grossezza suddetta lungo 5^m.

Ma per venire a capo di siffatta determinazione il Pouillet fece uso della bussola delle tangenti, e Wheatstone più tardi ha usato un altro strumento da lui denominato *reostato* (2). Vi darò un'idea

(1) Supponete infatti che la resistenza del conduttore interposto sia espressa da r, la quantità della corrente di una coppia sarà $Q = \frac{E}{R+r}$, e quella della pila $Qn = \frac{nE}{nR+r}$, onde si vede che quando r è più grande torna meglio avere più coppie.

(2) Il Pouillet dopo aver messo i poli di una coppia in comunicazione con la bussola delle tangenti e notato il deviamento, interpose nel circuito successivamente fili di rame dello stesso diametro e di varie lunghezze, ed

di cotesto strumento rappresentato dalla fig. 232. *A* e *B* son due cilindri il primo di ottone ed il secondo di legno mobili entrambi intorno a' loro assi mercè un manubrio che si applica all'uno o all'altro. Il cilindro di legno tiene una scanalatura ad elica e termina in *a* con un anello metallico al quale è congiunto un estremo di un filo metallico di rame o di ottone. Questo filo lungo 40 metri si avvolge in parte sul cilindro di legno seguendo il solco ad elica di questo ed in parte si avvolge sull'altro cilindro *A* ch'è di metallo al quale finalmente è congiunto con l'estremo capo. Dalle due pinzette *o* ed *n* partono due molle che premono respettivamente l'anello metallico del cilindro *B* e la superficie del cilindro *A*. Se dunque una corrente entri per *o*, dovrà percorrere tutta la lunghezza della porzione del filo che si trova nel solco ad elica del cilindro di legno, dal quale passando sul cilindro metallico verrà all'altro polo della pila, senza essere astretta a percorrere la rimanente lunghezza del filo avvolta sopra questo secondo cilindro. E siccome facendo rotare opportunamente il cilindro *B* si avvolgerà sul medesimo maggiore porzione di filo, e per contro facendo rotare il cilindro *A* si farà rimanere minor parte del filo sul primo, così voi potrete obbligare la corrente a percorrere quella porzione di filo che vi piacerà, e quindi potrete opporle una resistenza che varî a vostro talento. Per sapere quale lunghezza di filo avete interposta nel circuito, i cilindri rotando fan caminare due

FIG. 232.

ebbe i risultamenti qui appresso aotati, chiamando x la lunghezza ridotta della coppia e della bussola.

Lunghezza del circuito	*Deviamenti osservati*	*Tangenti de' deviamenti*
x	62,00	1,860
$x+5$	40,20	0,849
$x+10$	28,30	0,543
$x+40$	9,45	0,172
$x+70$	6,00	0,105
$x+100$	4,45	0,071

Or se le tangenti de' deviamenti rappresentano le intensità delle correnti e queste intensità sono la ragione inversa delle lunghezze de' circuiti, non solo si potrà facilmeate ricavare il valore di x, ma questo dovrà eziandio trovarsi costante, ed infatti si trova con piccole differellze pari a 4m, 8.

indici sopra due quadranti, e vi danno co'gradi che percorrono la misura richiesta. Nel caso di correnti di molta tensione per le quali l'anzidetto filo non fosse sufficiente, si fanno queste passare nello stesso tempo attraverso altri fili messi intorno ad altri cilindri che l'autore denomina *cilindri di resistenza.*

Ciò premesso, supponete che nel circuito si trovi un galvanometro, ed un conduttore di cui vogliate misurare la resistenza, ossia la lunghezza ridotta; dopo aver notato il deviamento galvanometrico, si toglie il conduttore dal circuito e vi si sostituisce il reostato avvolgendo sul cilindro di legno tanto filo che basti per avere lo stesso deviamento nel galvanometro, la lunghezza di questo filo sarà appunto la resistenza che si cercava, ossia la lunghezza ridotta del conduttore.

Per conoscere la lunghezza ridotta del filo galvanometrico si scelgono due coppie che diano la corrente della stessa intensità, ossia che generino lo stesso deviamento sull'ago: notato questo deviamento si mettono l'una presso l'altra e si chiude il circuito col galvanometro e col reostato, la lunghezza del filo di questo necessario perchè l'ago del galvanometro devii egualmente di prima dinoterà la lunghezza ridotta o la resistenza del galvanometro.

Volendo poi conoscere la resistenza o lunghezza ridotta della pila, dopo di aver chiuso il circuito col galvanometro e col reostato, a'capi del galvanometro si uniscano quelli di un altro filo di eguale resistenza, allora la metà della corrente passerà pel galvanometro; affinchè dunque questo possa dare la stessa indicazione di prima converrà che la lunghezza ridotta del circuito si riduca alla metà, or diminuite la lunghezza del filo reostatico fino a che il galvanometro dia la stessa indicazione che aveasi prima di spartire la corrente per due circuiti, ed allora è chiaro che la lunghezza ridotta sarà la metà di quello che era prima, ma quella del galvanometro e del reostato sono note, si ricaverà quindi quella della pila.

Presa finalmente la forza elettromotrice di una coppia per unità non sarà malagevole comparare con essa quella di altre coppie.

Questo è ciocchè si dice in linguaggio matematico determinare le costanti delle formole di Ohm.

Il reostato può anche essere adoperato per graduare il galvanometro in gradi proporzionali.

Avendo dovuto congiungere fili di varie grossezze vi potrebbe sorgere il dubbio che la corrente dovesse avere diverse intensità nelle varie parti di un circuito eterogeneo, ma questo dubbio lo dilegua l'esperienza la quale dimostra che la corrente ha la stessa intensità in tutte le parti di un circuito comunque eterogeneo.

Correnti derivate. Se mentre un circuito è chiuso voi applicate a due punti del medesimo gli estremi di un filo metallico, la porzione della corrente che percorrerà questo filo dicesi *corrente derivata*, il filo per cui passa, *circuito di derivazione* si addimanda, e la distanza alla quale i due capi di questo filo si congiungono col circuito primitivo si è denominata *intervallo di derivazione.* Ora è chiaro che la corrente derivata sarà più intensa in ragione della maggior resistenza dell'intervallo di derivazione e della minore resistenza del circuito di derivazione. Il Pouillet ha data la teorica matematica di siffatte correnti.

Teorica del galvanometro. Avendo detto più innanzi che la intensità della corrente è in ragioni inversa della lunghezza del circuito, poste le altre cose eguali cioè la sezione e la conducibilità, par che ne segua la inutilità del galvanometro, perocchè quello che si guadagna moltiplicando i giri di filo sul telaio, si perde per la maggiore lunghezza che genera maggiore resistenza. Certo che il ragionamento di Schweiger col quale inventò il galvanometro fu falso, perchè egli non tenne conto della resistenza del filo, ma ciò non di meno il galvanometro ha la sua utilità, ed ecco come: Se la lunghezza ridotta o la resistenza della pila fosse nulla, siccome interviene quando s'abbia una sola coppia termoelettrica la cui resistenza si può quasi trascurare, allora effettivamente si trova che un giro di filo sul telaio galvanometrico fa lo stesso uffizio di 10 giri, siccome di sopra vedemmo; ma quando la pila rappresenti una parte più o meno grande della resistenza dell'intero circuito, allora la lunghezza del filo galvanometrico non è più indifferente. E per fermo supponete che la lunghezza ridotta della pila sia eguale a 10 metri di filo di rame della grossezza di un millimetro e che i poli di questa pila sian congiunti con un metro di filo della stessa grossezza il quale basti a fare un giro sul telaio del galvanometro, essendo il circuito diventato 11 la intensità della corrente sarà $^{10}/_{11}$; ma se il filo che congiunge i poli della pila sia di 10 metri, allora il circuito diventando doppio in lunghezza, la intensità della corrente diverrà $^{1}/_{2}$, e poichè con 10 metri di filo si fanno 10 giri sul telaio del galvanometro, così l'ago dovrà ricevere 10 impulsi dalla corrente $^{1}/_{2}$ che passa 10 volte intorno ad esso, e si avrà perciò indicata una tensione 5; ecco dunque la utilità del galvanometro. D'onde segue che quando maggiore è la resistenza della pila tanto più torna conveniente accrescere la lunghezza del filo galvanometrico. Per la qual cosa quando si tratti di pile termoelettriche come quelle che son tutte metalliche e però di poca resistenza, si fa uso di galvanometri a filo più grosso e più corto. Quando poi si tratti di liquidi e metalli, la resistenza

divenendo molto grande, il galvanometro si fa a filo lungo è sottile, da giungere a migliaia di giri sul telaio.

Dalle cose dette intendete come non possa il galvanometro essere strumento comparabile.

Usando di un galvanometro a filo corto e grosso i deviamenti dell'ago cresceranno col crescere l'ampiezza delle coppie della pila, il che non si avvererebbe se il galvanometro avesse il filo molto lungo, e per contro questo indicherebbe gli aumenti se rimaste le coppie della medesima forza e grandezza crescessero solamente di numero, perocchè nel primo caso cresce la quantità nel secondo la tensione.

Velocità delle correnti. Sulle grandi linee de' telegrafi elettrici si è proccurato di determinare la velocità delle correnti che percorrono i fili metallici.

Ricorderete che Wheatstone avea trovata la scarica della boccia di Leida avere una velocità di 46,000 chilometri a minuto secondo, in un filo di ottone di due millimetri di diametro, il che corrispondeva ad una volta e mezzo la velocità della luce. Walker in America nel 1849, sperimentando co' fili telegrafici, trovò la velocità di 30,000 chilometri a minuto secondo.

Fizeau e Gounelle nel 1850, ritornando sul medesimo argomento, giunsero a' risultamenti che seguono.

1. In un filo di ferro di quattro millimetri e mezzo di diametro l'elettricità si propaga con una velocità di 101,700 chilometri a minuto secondo.

2. Per un filo di rame di 2 millimetri e mezzo di diametro la velocità è di 177,700 chilometri.

3. Le due elettricità vanno con velocità eguali.

4. Il numero e la natura delle coppie non fanno variare la velocità di propagazione dell'elettrico.

5. Le velocità non sono proporzionali alle conducibilità de' metalli.

LEZIONE XXIII.

MACCHINE E TELEGRAFI ELETTROMAGNETICI.

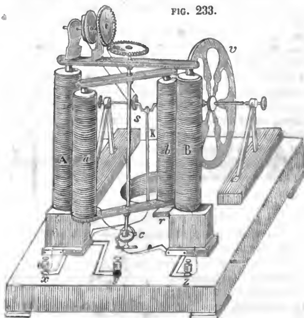
Voi già conoscete che cosa è un'elettromagnete o calamita temporaria. Ora i fisici vedendo la forza di queste calamite rinascente a lor piacere, pronta a sparire con la interruzione del circuito e capace di trasformarsi a nostro talento di attrazione in ripulsione, di buon ora pensarono ad applicarla come forza motrice, e inventarono diverse macchine o motori elettromagnetici la cui mercè si tentò di sostituire la forza della elettricità a quella del vapore.

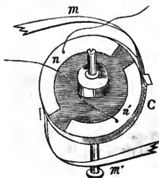
La prima macchina di questo genere par che sia stata fatta dal professore dal Negro, ed il più importante lavoro teorico eseguito

in Italia è opera del Botto. Iacobi applicò l'elettromagnetismo alla navigazione, ed in una piccola nave mossa da cotesta forza navigò sulla Neva con 12 persone. Poi cento e mille modelli e grandi e piccoli furono eseguiti, ed alcuni anche per uso di scuola, la maggior parte venuti a noi di Francia elegantemente lavorati da Froment. Ve ne descriverò uno da me diretto è fatto eseguire in Napoli, affinchè conosciate il principio comune al maggior numero di coteste macchine.

A B (*fig.* 233) son due cilindri di ferro dolce coperti di filo di

FIG. 233.





rame vestito di seta ed avvolto a replicati giri, congiunti nelle parti superiori da una verga di ferro dolce sicchè formino una vera calamita temporaria fissa sopra due zoccoli di legno. Nell'interno di questa ee n'ha un'altra simile *a b* mobile intorno di un asse che passa nel mezzo delle sue branche. I capi del filo della prima di queste calamite comunicano con le pinzette metalliche *x*, *z*, e quelli della seconda con due pezzi metallici *n n'* del commutatore *c* espresso a parte in *C*. Questo consiste in un disco di avorio coperto da due archi metallici *n* ed *n'* tra quali restano due intervalli anche di avorio. Sull'orlo del disco premono due molle di ottone *m* ed *m'* le quali comunicano respettivamente con le pinzette *y* e *z*.

Se dunque il polo positivo di una pila di tre o quattro coppie alla Buusen comunichi con la pinzetta *x* ed il negativo con l'altra *y*, la corrente dopo di aver girato pel filo dell'elettromagnete *A B*, giunta alla pinzetta *z* per la molla andrà al pezzo metallico corrispondente del commutatore, quindi entrerà in uno de' capi del filo dell'elettromagnete *a b*, ed uscendo per l'altro giungerà, passando pel commutatore, alla pinzetta *y* mercè la molla corrispondente, e quindi all'altro polo della pila; e però la calamita temporaria *a b* dovrà rotare in mezzo all'altra *A B* fino a che i poli di nome contrario non siano venuti di rincontro: ma in questo punto le molle toccano i due intervalli di avorio e quindi l'azione cessa, senza cessare il moto di *a b* che rotar deve per la velocità acquistata; ora le molle, lasciati i due intervalli d'avorio, toccano di nuovo i pezzi metallici, ma *m* che toccava *n'* toccherà *n*, ed *m'* toccherà *n'*, onde la corrente passando pe' fili di *a b* per opposta direzione avrà repulso il polo che prima era attratto ed attratto quello che era repulso, e così seguitando si avrà una rotazione continua.

Questo moto di rotazione orizzontale è trasformato in moto di rotazione verticale mercè ruote dentale ed una fune perpetua la quale fa rotare un asse a gomito con un volante *v*, il quale asse a gomito genera in ultimo un moto rettilineo alternativo nell'asta *k* alla quale corrisponde lo stantuffo di una tromba per elevare acqua.

Sotto i poli finalmente della calamita temporanea *A B* ho collocato due pezzi di ferro dolce orizzontalmente, uno de' quali *r* si vede nella figura, e ciò per rendere sempre più efficace l'attrazione e la ripulsione tra' poli delle due elettromagneti, giacchè gli estremi inferiori di *a b* passano a piccolissima distanza da' due pezzi di ferro anzidetti.

In alcuni modelli il conflitto si ha tra elettromagneti e pezzi di ferro dolce opportunamente collocati.

E come il ferro non si scalamita nè prontamente nè tutto ancorchè sia di migliore qualità, così Page in questi ultimi anni ha fatto ricorso all'azione di semplici eliche di filo di rame su pezzi di ferro dolce.

Iacobi e Lenz mercè la bilancia elettromagnetica di Becquerel (1) hanno fermato le leggi secondo le quali la forza delle calamite temporarie può essere accresciuta, tra le quali son da notare principalmente le due seguenti : 1.° Il massimo di forza si ha quando la resistenza del filo sia eguale a quella della pila, 2.° la forza attrattiva delle calamite temporarie è proporzionale a' quadrati delle intensità delle correnti, cosicchè una corrente quadrupla dà una forza doppia.

Questa seconda legge è di per se nemica delle grandi macchine elettromagnetiche, perocchè per avere una forza decupla si richiede una corrente centupla. Aggiungete il caro prezzo di un cavallo elettromagnetico che costerebbe 50 franchi al giorno e le induzioni che distruggono una parte della forza ne'momenti di maggiore importanza, ed intenderete perchè l' elettromagnetismo non ha renduto alla meccanica industriale tutti que' servigi che da prima se ne sperarono, e per lo meno converrà aspettare che le correnti si possano avere di gran forza con modica spesa.

Telegrafi elettrici. L'elettromagnetismo ha ricevuto una importante applicazione nel comporre un discorso con la rapidità della scrittura, e trasmetterlo a grandi distanze con la velocità del pensiero. Io non posso diffusamente parlarvi di un soggetto che meriterebbe di per se solo un volume. Leggerete sul proposito l'eccellente *trattato di telegrafia elettrica* di Moigno, il *manuale* di Walker, di Matteucci ec., ed io mi contenterò di farvi intendere per sommi capi in che sia riposta l'indole di queste macchine che formano la maraviglia de' contemporanei.

Per farsi un'idea del telegrafo elettrico è mestieri figurarsi due stazioni tra le quali si voglia stabilire una corrispondenza, allora si richiede una sorgente di elettricità dinamica, due fili conduttori che congiungono le due stazioni affinchè la corrente passi per entrambi, due meccanismi per chiudere ed aprire convenientemente il circuito che diconsi *manipolatori* e due congegni i quali al passaggio delle correnti ed al suo finire generino moti che si traducono in segni, i quali congegni sogliono dirsi *segnalatori*. Il ma-

(1) Vedi la descrizione di questo strumento col quale il fisico francese misura la intensità delle correnti, o nel suo grande trattato dell'elettricità, o nell'altra opera in due volumi intitolata *Trété de Physique* ec. Parigi 1844.

nipolatore ed il segnalatore formano insieme quel che si addimanda propriamente il telegrafo elettrico o la macchina telegrafica. Cominceremo a parlare di queste, le quali essendo già numerosissime conviene ridurle a generi o tipi.

Il primo genere è quello de' telegrafi ad aghi, il secondo può dirsi ad indice o a quadrante, il terzo a scrittura. Co' due primi si parla, con gli ultimi si scrive.

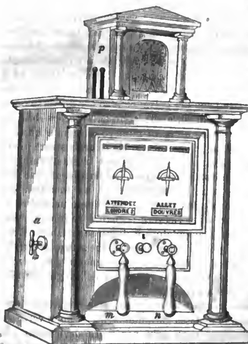
I telegrafi ad aghi son fondati sul principio del galvanometro, e sono in uso in Inghilterra, in Austria e nel nostro Regno, con alcune diversità che verremo dichiarando. Per farvene un idea, immaginate un galvanometro in una stanza ed i suoi capi lunghi in modo che vadano in un'altra stanza nella quale sia una piccola pila a forza costante, avendo voi questi capi nelle mani, se gli accostate a' poli della pila, l'ago del galvanometro che trovasi nell'altra stanza devierà e farà conoscere a chi si trovasse vicino allo strumento l'operazione che voi avete fatta. Interrotto il circuito e tornato l'ago a zero, se voi ricongiungete i poli della pila co' capi del galvanometro come prima, ripeterete il medesimo deviamento sull'ago, il quale deviamento sarà per verso contrario se congiungerete i fili con la pila diversamente di prima, ossia facendo andare la corrente per opposta direzione. Queste operazioni che abbiamo supposte farsi a mano possono essere eseguite più comodamente per mezzo di un congegno il quale sarebbe il manipolatore, ed il galvanometro sarebbe l'indicatore. In questo modo intendete che potendo voi far deviare l'ago del galvanometro per un verso o per l'altro e per quel numero di volte che si desidera, è possibile da una stanza all'altra eseguire un certo numero di segni a' quali si può dare per convenzione un significato. Ma se dalla stanza in cui abbiamo supposto il galvanometro si vogliano trasmettere segni a colui che supponemmo stare con la pila, è chiaro dovere que' due capi comunicare pur con un galvanometro, ed un manipolatore doversi trovare col primo galvanometro, così l'intera macchina telegrafica per trasmettere e per ricevere segnali deve in ogni stanza esser composta di un manipolatore e di un segnalatore. Ciocchè abbiamo supposto potere intervenire tra due stanze avverrebbe egualmente tra due stazioni lontane per cento miglia, purchè la corrente abbia forza a vincere la resistenza de' lunghi fili metallici pe' quali è costretta a passare.

Operando nel modo di sopra indicato, l'ago starebbe troppo tempo a fermarsi, e però la matassa galvanometrica si pone verticale con alcune modificazioni negli aghi per avere deviamenti più pronti, ossia da poter essere più spesso ripetuti. Ma taluno mi dirà: in questo modo voi non siete padrone che di due soli segni, di un

deviamento a destra e di un altro a sinistra. Si è vero, ma ripetendo cotesti deviamenti per numero di volte e per alternative si compone l'alfabeto telegrafico. Così per esempio se un deviamento a destra dinoti *A* ed uno a sinistra significhi *B*, due deviamenti a destra potrebbero dinotare *C*, due sinistra *D*, uno a destra e l'altro a sinistra *E* e così appresso, avvertendo a far di seguito ossia a brevissimi intervalli quelli che compongono una sola lettera e lasciare una pausa dopo ciascuna lettera. Dal che vedete esser mestieri di molti segni per esprimere alcune lettere, il che porta perdita di tempo. Questo è l'inconveniente notato nel sistema austriaco ad un ago.

La compagnia inglese de' telegrafi per rendere più semplice ciascuna lettera pose in ogni macchina due matasse e due aghi, il che importa avere due galvanometri ad ogni stazione co' quali si hanno quattro segni elementari, e ciascuna lettera si compone con un minor numero di elementi. Allora sarebbero necessari quattro fili di comunicazione essendo quattro i capi per ogni doppia matassa, ma come un filo può esser comune, così ce n'ha effettivamente tre. Essendo allora due circuiti metallici, quantunque la pila sia sempre la stessa, è mestieri ancora di due manipolatori.

FIG. 234.



Uno di questi telegrafi è dinotato dalla fig. 234. Qui vi veggonsi solo i due aghi indicatori ed i due manubri *m* ed *n* dei manipolatori, il rimanente è chiuso entro la cassa dalla figura dinotata. I due galvanometri hanno gli aghi fatti alquanto diversamente dal consueto, oltre ad essere più gran-

di e verticali. La disposizione di tali aghi è dinotata dalla fig. 235. $N S$ è un grande ago calamitato di poca forza col polo boreale in sotto e questo è l'ago indicatore che si vede fuori la cassa: sull'asse di questo ad una certa distanza trovasi un disco d'avorio sul quale sono incastrati de' piccoli aghi *sn*, *sn* co' poli boreali in alto: questi aghi col disco si trovano entro la matassa.



FIG. 235.

La prima operazione che deve fare chi vuole trasmettere un avviso telegrafico è di avvertire la stazione opposta di prepararsi a riceverlo; questo si esegue facendo suonare un campanello di *allarme*, come lo dicono, e ciò anche per mezzo della corrente elettrica. Per conseguire questo scopo ogni macchina telegrafica è munita di un meccanismo di orologeria come quello dinotato dalla figura 236 in cui *A* dinota una calamita temporaria e *B* la sua ancora mantenuta a piccola distanza da una molla *f* che preme sul braccio di leva *c e*, il quale dal canto suo afferra un dente della ruota *d* ed impedisce a questa di mettersi in moto. Or passando la corrente pel filo della elettromagnete *A*, l'ancora *B* essendo attratta il braccio *c e* alzandosi rende libera la ruota *d* e la macchina d'orologeria fa che il martello *h* batta con frequenza e con forza contro un campanello *D*. Allora chi trovasi in questa stazione fa che il medesimo avvenga alla macchina della prima, per dire che la corrispondenza può cominciare. Or se la corrente seguitasse a passare pe' fili dell' elettromagnete il suono continuerebbe oltre il bisogno non solo, ma la corrente incontrerebbe soverchia resistenza dovendo passare per l'elica dell'elettromagnete e per la matassa; così l'uffiziale telegrafico voltando un manubrio *a* fa che la corrente abbandoni almeno in gran parte il filo dell'elettromagnete e circoli per la matassa, e ciò mercè un conduttore che congiunge direttamente i capi dell'elica. La macchina d'orologeria che abbiamo descritta trovasi nella piccola cassa *p* (*fig.* 234)

FIG. 236.



Intesa così per sommi capi la natura della macchina telegrafica, diciamo de' conduttori. Dovendo la stessa corrente percorrere

nello stesso tempo due matasse collocate a due stazioni opposte, è chiaro aversi bisogno di conduttori che congiungano le stazioni medesime. Questi sono de' fili metallici, o di ferro galvanizzato, o di rame i quali corrono sopra pali di legno impiantati nel suolo, ed affinchè si tengano isolati si appoggiano sopra maniere di carrucole di argilla. Spesso cotesti fili si pongono sotterra, ed in questo caso debbono essere diligentemente isolati dal suolo, e per questo si rivestono di *guttapercha*, che riesce all'uopo molto accomodata. Prima dell'uso di questa sostanza isolante si preferivano i fili sospesi, per la difficoltà dell'isolamento, ma oggi che s'isolano così bene anche sotto l'acqua del mare, i fili sotterrati meritano la preferenza, e perchè meglio custoditi, e perchè meno soggetti all'azione dell'elettricità atmosferica la quale spesso fa parlare soli i telegrafi a conduttori pensili, e gli espone più spesso ad esser danneggiati da' fulmini, quantunque ci siano già alcuni parafulmini di peculiare conformazione per evitare in gran parte cotesti danni.

Nella nostra linea telegrafica che da Napoli si dirige per Caserta, Capua e Gaeta verso lo stato Pontificio, i fili sono in gran parte sospesi e vestiti di guttapercha.

Fin da' primi tempi della invenzione della pila Aldini avea veduto che il suolo trasmette con facilità le correnti elettriche. Rifatte queste sperienze più tardi e per distanze più considerevoli, si vide che il suolo conduce le correnti anche meglio de' fili metallici, forse perchè la minore conducibilità delle rocce resta largamente compensata dalla enorme sezione del conduttore formato dalla intera massa terrestre, o per altra ragione che non ancora conosciamo. Quindi in molti luoghi la terra fa l'uffizio di un filo. Allora del filo che si risparmia non ce n'ha che i soli capi estremi i quali partendo da ciascuna stazione s'internano in un pozzo o in terreno molto umido, terminati in ciascuna parte in una lamina di rame. Ed è curioso come possono per lo stesso terreno passare correnti che vanno per opposte direzioni senza punto perturbarsi, adempiendo ciascuna all'uffizio per cui è ordinata.

La sorgente finalmente che dà le correnti animatrici de' telegrafi elettrici è comunemente la pila, e talvolta una macchina d'induzione magnetoelettrica, e non sarebbe difficile che un giorno venissero anche messe a profitto le correnti indotte dal globo.

In ragione che le stazioni sono più lontane il circuito diviene più resistente, e quindi sarà mestieri accrescere la tensione dell'apparato elettromotore, non che la lunghezza de' fili delle matasse galvanometriche.

Con questi telegrafi a doppio galvanometro si trasmettono fino a 90 lettere a minuto, e 50 con quelli ad un sgo secondo il sistema austriaco.

Troppo dovrei allargarmi in parole se volessi descrivervi la seconda famiglia di telegrafi che ho detto ad indici o a quadrante. In tutti questi ci ha una calamita temporaria la quale al passaggio della corrente tira a se un'ancora, e quando il circuito s'interrompe l'abbandona, perchè ci ha una molla che la tira in verso contrario; dal che segue che voi potete, chiudendo ed aprendo il circuito in una stazione, eseguire nell'altra un moto di *va e vieni*, ossia alternativo rettilineo nell'ancora dell'elettromagnete collocata all'altra stazione. Or questo moto per una congegnazione facile ad indovinarsi viene trasformato in un altro di rotazione in un disco sul quale sono le lettere dell'alfabeto, o pure in un indice che gira per un cerchio nella cui circonferenza sono le anzidette lettere. Se è il quadrante che gira esso è coperto da un diaframma con un'apertura che fa vedere una lettera per volta. Per chiudere ed aprire con frequenza il circuito ci ha una ruota con denti alternativamente di metallo e di avorio e con due molle che premono una sull'asse e l'altra sulla circonferenza, sicchè facendo girare questa ruota in una stazione girerà il quadrante indicatore nell'altra e le lettere dell'alfabeto passeranno rapidamente l'una dopo l'altra sotto gli occhi di chi si trova incaricato a raccogliere l'avviso all'altra stazione. Ma come si può parlare se tutte le lettere passano egualmente? Una pausa sopra ogni lettera componente l'avviso è il mezzo per isceverare le lettere inutili.

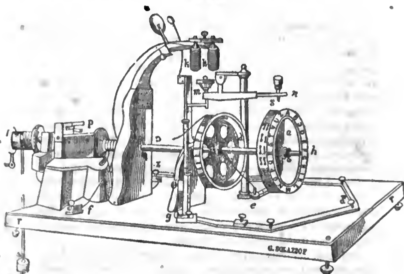
I telegrafi del primo genere hanno la preferenza su questi perchè più semplici e capaci di operare anche con correnti più deboli, e però richiedono meno spesa. Aggiungete pure che i telegrafi a quadrante sono meno celeri nella trasmissione de' segni dando regolarmente 45 lettere a minuto. Ma sì gli uni che gli altri raccomandano all'occhio per un momento i loro segni fuggevoli, e possono ingenerare equivoci o errori se per poco manchi l'attenzione di chi deve raccogliere i segni o le lettere.

Ci ha finalmente un terzo genere di macchine telegrafiche che stampano o scrivono in linguaggio alfabetico o in cifre ciocchè viene ad esse comunicato. Queste a me sembrano le più sicure ed alcune anche molto celeri nella esecuzione de' segni. Il telegrafo americano di Morse che trovasi per linee che sommano migliaia di leghe in gran parte del nuovo mondo, potrebbe quì essere opportunamente indicato. Ma io vi descriverò come per esempio un modello da me inventato nel 1844 quando appena si avevano tra noi oscure notizie del telegrafo di Morse, tanto più che molti profes-

sori lo hanno accolto ne'loro gabinetti, ed il Moigno lo ha descritto nel suo eccellente Trattato. Da quel tempo questa branca di fisica applicata ha caminato co' passi del Nettuno di Omero, ma ho veduto che altre macchine telegrafiche posteriori hanno presa una certa somiglianza con la mia, siccome potrete raccogliere dalla lettura dell'opera di Moigno più volte citata.

La macchina telegrafica dunque della quale vi parlava è dinotata dalla figura 237 *k k* è una calamita temporaria, *m* l'ancora at-

FIG. 237.



taccata all'estremo della leva *mn*. In *s* ci ha un pennellino di quelli per disegnare in miniatura con piccolo ricettacolo d'inchiostro cinese. Quando l'ancora si eleva attratta dall'elettromagnete il pennello si abbassa e fa un punto sopra una zona di carta collocata sul cilindro di legno *h*. Questo cilindro gira intorno al suo asse mercè un meccanismo di orologeria collocato in *p*. Il manipolatore è un tasto collocato in *d* sul quale premendo, il circuito si chiude, giacchè la corrente entra per lo filo *f*, discende per l'altro *z* e pel conduttore ch'è sulla tavola *rr* viene in *g* d'onde va all'altro polo della pila. Mentre dunque il cilindro *h* gira intorno del suo asse, se premete il tasto *d* per un momento e poi lo lasciate, il pennello calando sulla carta vi farà un punto, se premete il tasto per un certo tempo farete una linea più o meno lunga secondo il tempo in cui tenete chiuso il circuito. Potete dunque avere quattro segni ele-

mentari, il punto, la linea corta, la linea lunga e la linea lunghissima, e con le combinazioni e permutazioni di questi vi sarà facile comporre l'alfabeto telegrafico. Quando il cilindro ha finito un giro, affinchè il pennello non torni sopra i segni già fatti, l'asse del cilindro viene da se un poco più innanzi per ricominciare un secondo verso di scrittura è così appresso. Si potrebbe anche avvolgere sul cilindro una lunga striscia di carta la quale si svolgerebbe man mano passando sopra un secondo cilindro.

Di fronte al cilindro *h* veggonsi le lettere dell'alfabeto per mostrare che questa macchina potrebbe fare quello che fanno le macchine a quadrante con una perfezione di più di fare un segno con l'inchiostro in corrispondenza delle lettere che compongono l'avviso.

Figuratevi dunque due di queste macchine in due stazioni diverse animate dalla medesima corrente, è chiaro che entrambi scriveranno le stesse lettere, e chi trasmette l'avviso vede scrivere dal pennello sotto i suoi occhi ciocchè un altro pennello, invisibile a lui, scrive in un'altra stazione sopra un diverso foglio di carta.

Volendo poi fare che il telegrafo scrivesse da se solo, vi aggiunsi un altro cilindro *d* che chiamai cilindro di composizione. Esso consiste in una ruota metallica alla circonferenza della quale ci sono delle verghette di ottone che possono uscir fuori o entrare dentro a piacimento. Una molla che parte da *e* preme sull' asse ed un'altra messa sulla colonnetta elevata in *g* preme sulle verghette sporgenti. Quando questa tocca una verghetta sporgente il circuito è chiuso ed il pennello si abbassa, e quando passa per l'intervallo che separa due verghette esso rimane alzato. Pel contatto di una sola verghetta si ha un punto, per due verghette contigue, senza intervallo tra loro, si ha la linea corta, per tre verghette la linea lunga ec. Disponete dunque le verghette mobili in quell'ordine che si richiede ed il telegrafo trasmetterà fedelmente l'avviso che gli avete consegnato.

L'*allarme* finalmente può qui porsi simile all'altro descritto di sopra, ma io ci ho aggiunto un campanello sul quale ad ogni attacco dell'ancora batte un martellino, di modo che si possono fare anche delle segnalazioni acustiche, le quali possono servire a'bisogni delle stazioni (1).

Nel telegrafo di Morse ci ha una punta di acciaro in vece del pennello, e questa fa i punti e le linee sopra una carta apposita-

(1) Il disegno che vedete fu fatto sul primo modello che feci eseguire dal Bandieri, gli altri che si sono fatti posteriormente sono stati anche migliorati, ed il migliore è quello che trovasi nel Gabinetto Fisico della R. Università.

mente ricoperta di una sostanza capace a ricevere le impressioni di cotesta punta che somiglia lo stile degli antichi. Froment ha fatto uso del lapis, ma io trovo il pennello essere da preferire, perchè, con esso vi servite della carta comune, non è soggetto a rompersi come il lapis o la punta, non può come questa lacerarvi la carta e non vi manca mai, per quella elasticità de'peli del pennello.

Il telegrafo elettrochimico di Bain, di cui si è parlato tanto, è pur esso un telegrafo che scrive, se non che la corrente attraversa della carta inzuppata di soluzione di prussiato di potassa e quindi fa i segni per l'azion chimica della corrente, e ci ha un modo di trasmettere i segni che molto somiglia il mio cilindro di composizione.

Il telegrafo di Siemens in Germania è giustamente commentato specialmente perchè ha la particolarità di permettere a chi sta ricevendo l'avviso d'interrompere il suo corrispondente se mai avesse a comunicargli cose di più grave importanza.

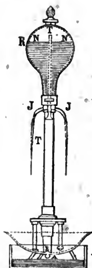
Lascio volentieri la storia de'telegrafi elettrici, perchè volendo cominciarla da'primi tentativi fatti nel secolo scorso con la boccia di Leida e con le palline di midollo di sambuco, dovrei molto allargarmi in parole, e volendo continuarla fino al presente dovrei spenderci un volume (1).

(1) V. il Maigno op. c. Figuier Exposition et histoire des principales decouvertes scientifiques modernes. Parigi 1851.

FINE DEL TOMO I.



OMISSIONE FATTA ALLA PAGINA 114.



Dal medesimo principio dipende la fontana intermittente dinotata dalla figura **238**. *R* è un recipiente di cristallo con alcuni beccucci *J*, *J*; dalla parte superiore *T* parte un cannello che uscendo fuori si prolunga e viene a terminare in *E* presso al fondo di una coppa *P*, la quale coppa è forata sotto all'apertura *E* del cannello anzidetto. Or ponendo l'acqua nel recipiente *R*, questa sgorgherà pe' beccucci *J*, J giacchè l'aria passando per l'orifizio *E* del cannello va ad esercitare la sua pressione in *N N*; ma l'acqua uscendo dagli anzidetti beccucci cade nella coppa *P* e non potendosene uscire nello stesso tempo pel foro fatto nel fondo di questa perchè molto angusto, chiude l'orifizio *E* del cannello e quindi impedisce all'aria di più passare in *N N*, onde l'acqua sgorgando per un altro poco per la elasticità dell'aria che trovasi in *N* N, quando questa si è un poco dilatata non avendo più l'antica tensione unita alla pressione dell'acqua residua fa equilibrio alla pressione atmosferica, e quindi il liquido più non scorga; ma come pel forellino della coppa *P* l'acqua ch'era quivi caduta se n'esce scendendo nella sotto coppa *A*, così si apre l'orifizio e quindi passando nuovamente l'aria il liquido ricomincia a sgorgare per arrestarsi di nuovo e poi tornare a scorrere finchè il recipiente non siasi interamente vuotato.

N. B. — La promessa notizia sulle macchine a vapore verrà dopo la seconda parte della dottrina del Calorico, e la tavola per la misura delle altezze mercè il barometro verrà alla fine dell'opera.

INDICE

—

SECONDA SERIE

CALORICO. PARTE PRIMA

TERZA SERIE

MAGNETISMO

QUARTA SERIE

ELETTROSTATICA

CONTINUAZIONE DELLA QUARTA SERIE

ELETTRODINAMICA

CONSIGLIO GENERALE

DI

PUBBLICA ISTRUZIONE

Num. 6.

Vista la domanda del Tipografo Gaetano Nobile, con che à chiesto porre a stampa l'opera intitolata, *Lezioni elementari di Fisica sperimentale e di Meteorologia dettate da Luigi Palmieri.*

Visto il parere del signor D. Giuseppe Placente;

Si permette che la suindicata opera si stampi; però non si pubblichi senza un secondo permesso che non si darà, se prima lo stesso signor Placente non avrà attestato d'aver riconosciuto nel confronto esser l'impressione uniforme all'originale approvato.

Napoli 31 Marzo 1851.

Il Presidente interino
FRANCESCO SAVERIO APUZZO

Il Segretario interino
GIUSEPPE PIETROCOLA.

